



جامعة تبوك

كلية الهندسة

قسم هندسة البيئة

محاضرات هادة الهيدرولوجيا الهندسية - الرحلة الثالثة

المصادر:

1. *Engineering Hydrology*, K. Subramanya, 1997.
2. *Hydrology for Engineers*, Linsely, 1988.
3. *Engineering Hydrology*, Wilson, E.M., 1983.
4. *Principles of hydrology*, Ward, R.C & Robinson , 1990.

مفردات المنهج:

الفصل الدراسي الثاني:

الفصل الأول : المقدمة ((Introduction))

الفصل الثاني : السقوط ((Precipitation))

الفصل الثالث : السحب من السقوط ((Abstraction from Precipitation))

الفصل الرابع : السيلج ((Run-Off))

الفصل الخامس : الهيدروغراف ((Hydrograph))

الفصل السادس : الفيضان ((Floods))

الفصل الاول

المقدمة

(Introduction)

1.1. الهيدرولوجي Hydrology : هو علم الماء الذي يتعامل مع المياه من حيث تكوينها و دورتها و توزيعها فوق

سطح الارض وفي الغلاف الجوي وكونه أحد فروع علم الارض فهو يتناول بصورة اساسية مياه المحيطات و البحار و الانهار و السقيط بكافة أنواعه (المطر و الثلج و الحالب) بالاضافة الى المياه الجوفية.

و لكون هذا العلم واسع و متنوع فإنه يتعامل مع علوم أخرى لها علاقة مباشرة بهذا العلم منها علم الانواء الجوية و الجيولوجيا و الاحصاء و الكيمياء و الفيزياء و ميكانيك الموائع ، ويقسم هذا العلم إلى قسمين:

1. الهيدرولوجيا العلمية : الدراسة التي تتعامل تعاملاً رئيسياً مع المواضيع النظرية.

2. الهيدرولوجيا الهندسية (التطبيقية) : الدراسة التي تتعامل مع المواضيع الهندسية مثل :

- تقدير الموارد المائية.
- دراسة العمليات مثل السقيط و السيح و التبخر الكلي و تداخلاتها.
- دراسة المشكلات مثل الفيضان و الجفاف واستراتيجية درئها.

1.2. الدورة الهيدرولوجية Hydrological Cycle :

حركة الماء بكافة أشكاله (أمطار وثلوج و حالب) بين سطح الارض إلى الغلاف الجوي و بالعكس نتيجة لتأثيرات مناخية أو لحالة الجو اليومية أو الاعتيادية ، حيث أن الماء يتبخر بفعل حرارة الشمس ثم ينتقل إلى الغلاف الجوي و يتكاثف لينزل مرة أخرى إلى المحيطات و البحار على شكل أمطار أو قد تحمل الرياح الغيوم إلى اليابسة ليسقط على سطح الارض مكوناً المجاري المائية كالانهار و الجداول أو يسقط على شكل ثلوج أو برد (حالب) وقد يتسرب قسم كبير منه إلى جوف الارض مكوناً ما يسمى بالمياه الجوفية.

1.3. مسارات الدورة الهيدرولوجية Hydrological cycle Paths :

بصورة عامة و مبسطة فإن مسارات الدورة الهيدرولوجية هي :

1. السقيط
 2. التبخر
 3. المياه الجوفية
 4. السيح السطحي
 5. الارتشاح
- وإن كل مسار من هذه المسارات يتضمن واحد أو أكثر من المظاهر التالية:
- أ. نقل الماء
 - ب. خزن وقتي للماء

1.4. معادلة الموازنة الهيدرولوجية Hydrological Budget Equation

إن مياه الجابية لمساحة معلومة خلال فترة من الزمن (t) :

التغاير في الخزين = كتلة الخزين الداخل - كتلة الخزين الخارج

$$S = V_i - V_o$$

مثال / جابية مساحتها 15 كم² ، إحسب :

1. التغير في حجم الخزين (لفترة سنة) فوق الارض و تحتها لهذه الجابية إذا كان حجم الماء للجريان الداخل $8 * 10^4$ م³ و للجريان الخارج $6.5 * 10^4$ م³ ؟

2. إذا كان المعدل السنوي لجريان المجرى المائي هو 10^7 م³ ، إحسب العمق المكافيء؟

الحل:

1. $S = V_i - V_o$

$$S = 8 * 10^4 - 6.5 * 10^4 = 1.5 * 10^4 \text{ m}^3$$

2. Average Depth = $10^7 / 15 * 10^6 = 0.667 \text{ m.} = 66.7 \text{ cm.}$

1.5. التطبيقات الهندسية للهيدرولوجيا Engineering Applications of Hydrology

إن اكبر تطبيق لعلم الهيدرولوجي هو في تصميم مشاريع الموارد المائية و تشغيلها مثل :

1. الري 2. تجهيز الماء 3. السيطرة على الفيضان 4. الطاقة المائية 5. الملاحة

وتحتاج التحريات الهيدرولوجية لتقديرات وافية لجميع هذه المشاريع إلى العوامل الضرورية الآتية:

- سعة الخزين في منشآت الخزن مثل الخزانات و السدود (ضرورة معرفة التصاريح القصوى لتصميم أي سد أو حاجز مائي).
- كميات و حجوم الجريان في الفيضان لجعله قادراً على التصريف الامين للزيادات في الجريان (تصميم المسيل المائي Spillway).
- أقل جريان و كمية الجريان المتوفرة من مصادر مختلفة (لأخذها بنظر الاعتبار و تحديد الاحتياجات المائية في مواسم الجفاف)
- التداخلات في موجات الفيضان و المنشآت الهيدروليكية مثل السداد و الجسور و الخزانات و السدود.

1.6 . عوامل الفشل النموذجية للمنشآت الهيدروليكية :

- إن فشل أو نجاح أي مشروع مائي يعتمد على مدى دقة التقديرات الهيدرولوجية و من عوامل الفشل:
1. إنهيار سدود ترابية نتيجة لارتفاع منسوب الماء و عجز في سعة مخارج تصريف المياه الفائضة (المسيل المائي Spillway).
 2. سقوط قناطر و جسور نتيجة الزيادة في جريان الفيضان.
 3. قصور في إمكانية إمتلاء خزانات الماء الكبيرة نتيجة تضخيم الجريان في المجرى المائي (تصميم مقطع جريان اكبر من كمية الماء المتاحة مما يسبب قلة التصريف و سرعة الجريان و عدم تأمين الاحتياج المائي المطلوب).

1.7 . مصادر المعلومات Sources of Data :

1. سجلات الطقس : درجة الحرارة و الرطوبة و سرعة الرياح.
2. معلومات السقيط.
3. سجلات الجريان في المجاري المائية.
4. معلومات التبخر.
5. خصائص الارتشاح في التربة للمساحة المخصصة للدراسة.
6. خصائص المياه الجوفية.
7. الخصائص الفيزيائية و الجيولوجية للتربة في المساحة المطلوب دراستها.

الفصل الثاني

السقيط

(Precipitation)

1.2. السقيط : هو كل أشكال الماء التي تصل إلى الأرض من الجو و من الأشكال الاعتيادية سقوط المطر و الثلج

و البرد و الصقيع و الندى ولكي يتكون السقيط ينبغي توفر الظروف التالية :

1. يجب أن يحتوي الجو على رطوبة .
2. يجب أن توجد ذرات كافية تساعد على التكاثف.
3. يجب أن تكون الظروف الجوية مناسبة لتكاثف بخار الماء .
4. يجب أن يصل ناتج التكاثف إلى الأرض.

2.2. اشكال السقيط Forms of Precipitation :

من الاشكال العامة للسقيط المطر و الثلج و الرذاذ (المطر الخفيف) والصقيع ، ويمثل المطر وصفاً للسقيط بشكل قطرات ماء أكبر من 0.5 ملم ويصل أكبر قطر لقطرات المطر إلى 6 ملم تقريباً و تصنف الامطار إستناداً إلى شدتها إلى:

الشفة المطرية	الصنف
أقل من 2.5 ملم / ساعة	مطر خفيف
2.5 - 7.5 ملم / ساعة	مطر متوسط
أكبر من 7.5 ملم / ساعة	مطر كثيف

3.2. كفاية محطات القياس المطرية :

إذا كان هناك عدد سابق من محطات قياس المطر في الجابية فإن العدد الامثل للمحطات و التي يظهر فيها نسبة مئوية من الخطأ في حسابات معدل سقوط الامطار ممكن إستخراجها بالتحليلات الاحصائية كما يأتي:

$$N = \left(\frac{C_v}{\epsilon} \right)^2$$
$$m-1 = \sqrt{\left[\left(\sum_{i=1}^m p_i^2 \right) - \frac{\left(\sum_{i=1}^m p_i \right)^2}{m} \right]} / (m-1)$$
$$\bar{P} = \frac{1}{m} \left(\sum_{i=1}^m p_i \right)$$

$$C_v = \frac{100 \times m-1}{p}$$

N : العدد الامثل للمحطات

C_v : معامل التباير في قيم سقوط المطر في المحطات الموجودة بعدد m (%)

P_i : مقدار السقيط في المحطة i_{th}

m : عدد المحطات

مثال (1) / جابية تحتوي على (6) محطات مقاييس سقوط مطر وفي إحدى السنين كان المطر السنوي المسجل في المقاييس كما يأتي:

المحطة	A	B	C	D	E	F
معدل سقوط المطر (cm)	82.6	102.9	180.3	110.3	98.8	136.7

وبافتراض حصول خطأ 10% في تقدير متوسط المطر ، إحسب العدد الامثل للمحطات في هذه الجابية ؟

الحل /

$$P = 118.6 \quad ; \quad = 10\% \quad ; \quad m-1 = 35.04 \quad ; \quad m = 6 \quad ;$$

$$C_v = 100 * 35.04 / 118.6 = 29.54$$

$$N = 8.7 = 9 \text{ stations}$$

إذن نحتاج 3 محطات إضافية

4.2 . تهيئة المعلومات Preparation of Data :

يكون من الضروري قبل إستعمال تسجيلات سقوط المطر في المحطات تدقيق إستمرارية المعلومات و تجانسها أولاً ، لأن إنقطاع التسجيلات يمكن أن يكون بسبب التلف أو الخلل الذي يطرأ على الاجهزة خلال فترة من الزمن ، وإن المعلومات المفقودة يمكن حسابها بإستعمال المعلومات من المحطات المجاورة لها . يستعمل سقوط المطر الاعتيادي في هذه الحسابات وهو معدل المطر الساقط في التاريخ المحدد شهراً أو سنة و على مدى (30) سنة.

5.2. حساب المعلومات المفقودة: Estimating of Missing Data

تحسب المعلومات المفقودة بإحدى الطريقتين التاليتين:

1 . طريقة المعدل الحسابي :

$$P_x = 1/m [P_1 + P_2 + \dots + P_m]$$

m : عدد المحطات

P_x : معدل السقيط المفقود في تلك الفترة

تعتمد هذه الطريقة في حالة إذا كان معدل السقيط الاعتيادي في المحطات المختلفة بحدود 10% من معدل السقيط الاعتيادي في المحطة X . حيث أن P_1, P_2, \dots, P_m معدلات السقيط للمحطات المجاورة 1, 2, ..., m على التوالي .

2 . طريقة النسبة الاعتيادية :

$$P_x = N_x/m [P_1/N_1 + P_2/N_2 + \dots + P_m/N_m]$$

ملاحظة : تعتمد هذه الطريقة في حالة ($N_m / N_x > 1.1$) أي أن النسبة ليست في حدود 10 %

معدلات السقيط السنوي الاعتيادي (لفترة 30 سنة) N_1, N_2, \dots, N_m

معدل السقيط السنوي الاعتيادي للمحطة المفقودة (لفترة 30 سنة) N_x

مثال (2) / كان معدل سقوط المطر السنوي الاعتيادي في المحطات A و B و C و D في حوض ما هو 80.97 , 67.59 , 76.28 , 92.01 على التوالي وفي عام 1975 لم تعمل المحطة D في حين سجل السقوط السنوي في المحطات A و B و C المقادير 91.11 , 72.23 , 79.89 سم على التوالي , إحسب مقدار السقوط في المحطة D في تلك السنة ؟

الحل /

بما أن قيم سقوط المطر الاعتيادي تختلف بمقدار أكبر من 10 % , عليه تعتمد طريقة النسبة الاعتيادية

$$P_D = 92.01/3 (91.11/80.97 + 72.23/67.59 + 79.89/76.28) = 99.41 \text{ cm.}$$

6.2. فحص تجانس السجلات Test for Consistency of Records

إذا تعرضت الظروف المتعلقة بتسجيل محطة سقوط المطر خلال فترة الرصد إلى تغييرات مهمة , فإن التناقض في معلومات سقوط المطر سوف يظهر في تلك المحطة , وهذا التناقض سيبدو جلياً ابتداءً من فترة حصول التغيير المهم , ومن الأسباب الشائعة لهذا التناقض :

- 1 . إنتقال محطة القياس المطرية إلى موقع جديد.
- 2 . المحطات المجاورة جرى فيها تغيير ملحوظ.
- 3 . تغيير في طبيعة المنطقة بسبب الكوارث مثل حرائق الغابات والزلازل.
- 4 . حدوث خطأ في القراءات في تأريخ محدد.

حيث يتم تدقيق التناقض في التسجيل بطريقة المنحني التراكمي المزدوج Double Mass Curve Technique :

أ. يحسب السقوط المتراكم للمحطة X أي (P_x) و القيم المتراكمة لمعدل مجموعة المحطات الاساسية (P_{av}) بدءاً من آخر تسجيل.

ب. ترسم قيم (P_x) مقابل (P_{av})

يشير الانكسار المقرر في ميل المنحني إلى التغيير في نظام السقوط للمحطة X و تعدل قيم السقوط للمحطة X خارج فترة النظام بإستعمال العلاقة :

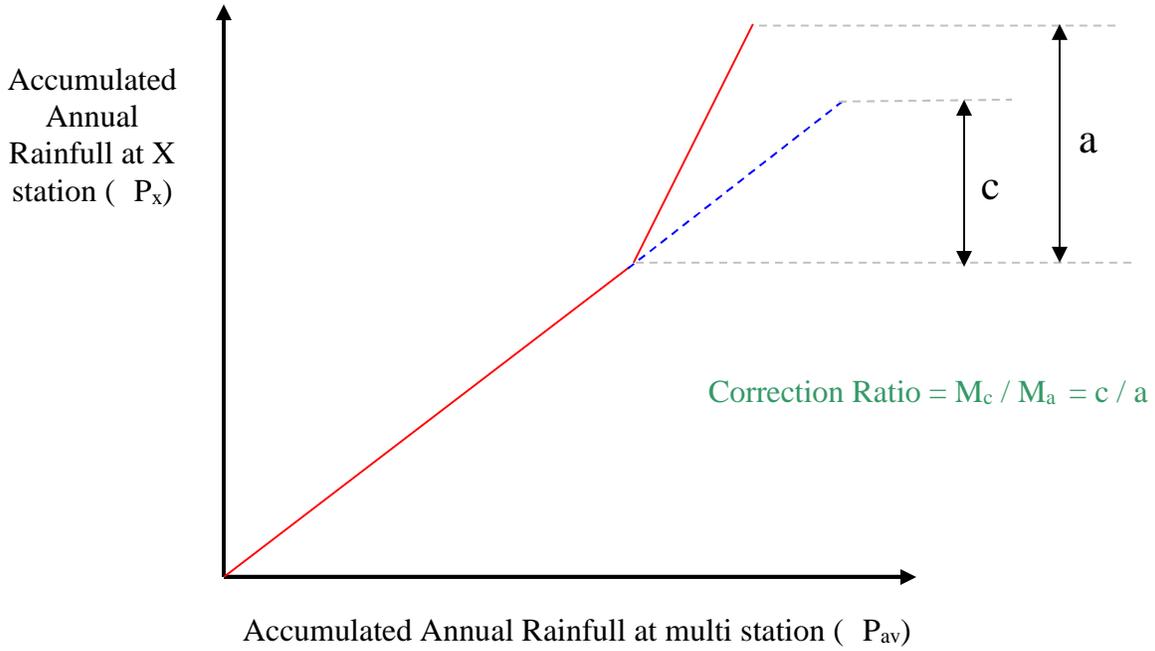
$$P_{cx} = P_x * M_c / M_a$$

P_x : السقوط المسجل الاصيل في فترة t_1 في المحطة X

M_a : الميل الأصلي للمنحني التراكمي المزدوج

P_{cx} : السقوط المصحح في أي فترة t_1 في المحطة X

M_c : الميل المصحح للمنحني التراكمي المزدوج



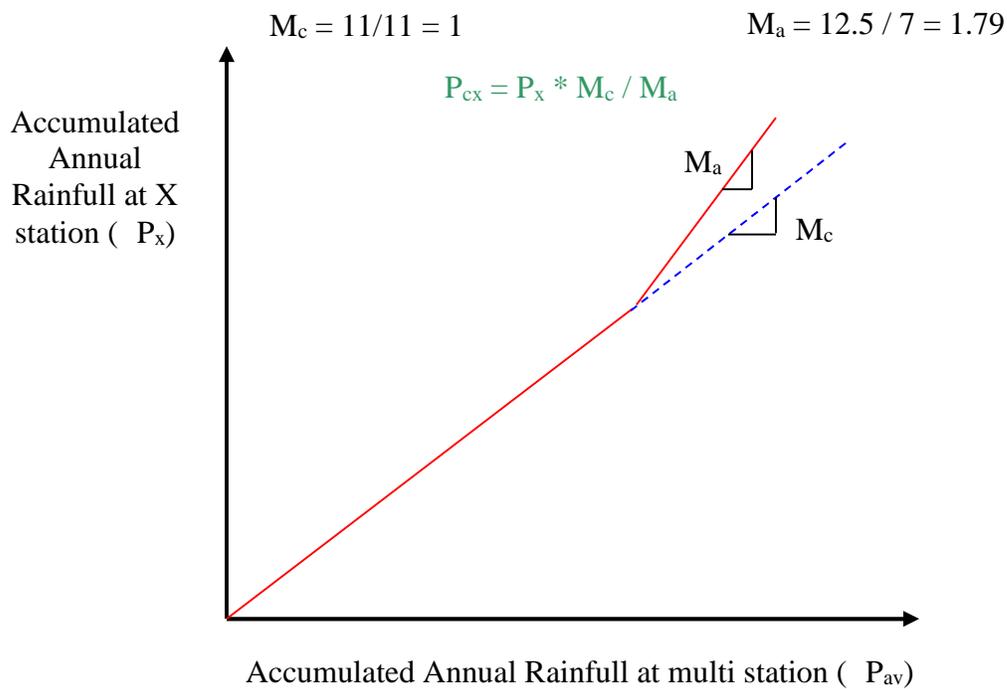
مثال (3) / إحصاء تجانس السجلات للمعلومات المطرية المبينة للمحطة D مع المحطات الأخرى ، ثم صحح المعلومات باستخدام طريقة المنحني التراكمي المزدوج للفترة المحصورة بين شهر آيار 1996 و شهر نيسان 1997.

المحطة D	المحطة C	المحطة B	المحطة A	الشهر
140.15	78.4	77.2	79.7	آيار 1996
125.2	67.9	66.5	69.4	حزيران 1996
123	60	61.3	65.3	تموز 1996
116.9	62.3	68.1	71.7	آب 1996
155.1	81.8	80.1	83	أيلول 1996
168.1	87.3	85.6	82.7	تشرين أول 1996
88.6	89.9	90.1	89.4	تشرين ثاني 1996
93.7	94.7	93.7	91.5	كانون أول 1996
93.5	92.8	91.5	92.4	كانون ثاني 1997
90.2	89.9	90.3	90.1	شباط 1997
83.5	84.9	83.6	82.3	آذار 1997
82.4	87.1	83.4	80.7	نيسان 1997

الحل /

P_{cx}	P_x	P_{av}	P_{av}	الشهر
82.4	82.4	83.73	83.73	نيسان 1997
83.5	165.9	167.33	83.6	آذار 1997
90.2	256.1	257.43	90.1	شباط 1997
93.5	349.6	349.66	92.23	كانون ثاني 1997
93.7	443.3	442.96	93.3	كانون أول 1996
88.6	531.9	532.76	89.8	تشرين ثاني 1996
94.14	700	617.96	85.2	تشرين أول 1996
86.86	855.1	699.59	81.63	أيلول 1996
65.46	972	766.96	67.37	آب 1996
68.88	1095	829.16	62.2	تموز 1996
70.11	1220.2	897.09	67.93	حزيران 1996
78.48	1360.35	975.52	78.43	آيار 1996

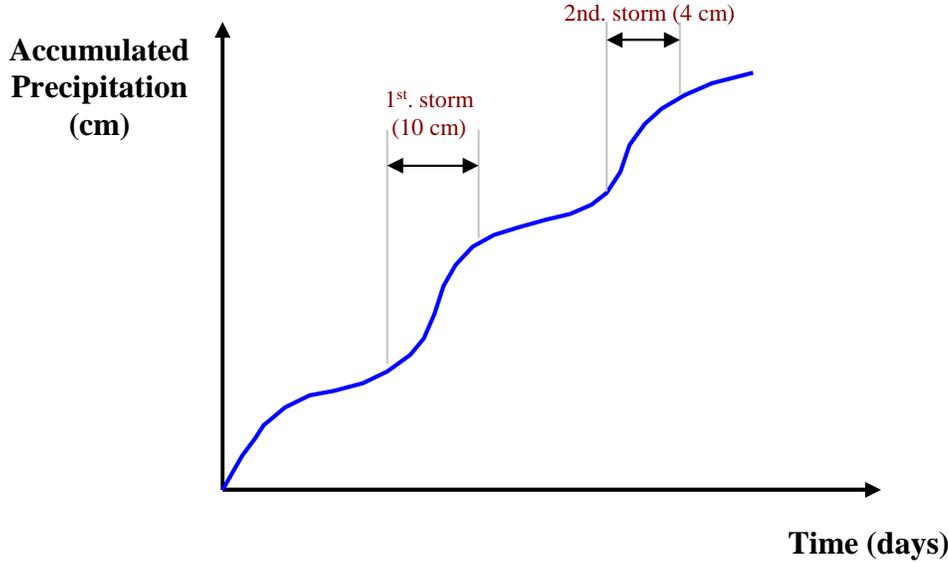
حدث التغيير في النظام في تشرين أول 1996



2. 7. طرق عرض البيانات المطرية : Rainfall Data-show Methods

1. المنحني التراكمي للمطر Accumulated Rainfall Curve

عبارة عن رسم السقيط المتراكم مقابل الزمن ويرسم حسب التسلسل الزمني عادةً ، كما في الشكل :



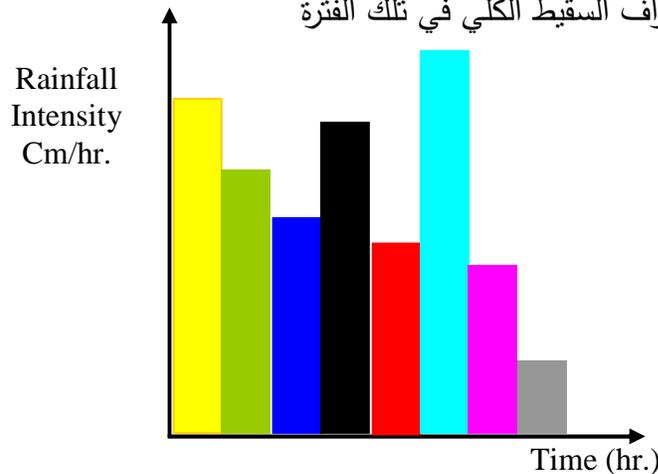
1. مقدار الزخة المطرية (cm)
2. إستدامتها بالأيام
3. شدة المطر في مختلف الفترات الزمنية من معرفة إنحدار المنحني (cm/hr.)

2. الهيتوغراف (مخطط المطر) Hyetograph : عبارة عن رسم شدة المطر مقابل الزمن ، والهيتوغراف

مشتق من المنحني التراكمي و يعرض على شكل خطوط عمودية (Bar Chart).

يعد الهيتوغراف طريقة مناسبة :

- عرض خصائص الزخة المطرية (مثلاً أول 8 ساعات الشدة المطرية 10 سم / ساعة)
- التنبؤ عن الفيضانات العالية
- تمثل المساحة تحت الهيتوغراف السقيط الكلي في تلك الفترة



2. 8 . معدل السقوط فوق مساحة : Average Precipitation over Area

يتم حساب السقوط فوق مساحة معينة بإحدى الطرق الآتية :

1. طريقة المعدل الحسابي Arithmetic Mean Method :

$$\bar{P} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_i + \dots + P_n}{N} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N P_i$$

حيث أن P_1 و P_2 و \dots و P_i و \dots و P_N هي قيم سقوط المطر في فترة معينة
N : عدد المحطات

عملياً، فإن استخدام هذه الطريقة قليل جداً لعدم مقاربتة نتائجها مع الواقع.

2 . طريقة معدل ثيسن Thiessen Average Method :

$$\bar{P} = \frac{P_1 A_1 + P_2 A_2 + \dots + P_n A_n}{(A_1 + A_2 + \dots + A_n)} = \frac{\sum_{i=1}^M P_i A_i}{A} = \sum_{i=1}^M P_i \frac{A_i}{A}$$

تفضل طريقة ثيسن على طريقة المعدل الحسابي لأنها تعطي بعض الوزن لمختلف المحطات و بشكل منطقي و فضلاً عن ذلك فإن محطات القياس خارج الجابية يمكن الإستفادة منها بصورة مؤثرة.

3 . طريقة خطوط تساوي المطر Isohyetal Line Method :

خط تساوي المطر عبارة عن خط يربط نقاط متساوية في مقدار المطر.

$$\bar{P} = \frac{a_1 \left(\frac{P_1 + P_2}{2} \right) + a_2 \left(\frac{P_2 + P_3}{2} \right) + \dots + a_n \left(\frac{P_{n-1} + P_n}{2} \right)}{A}$$

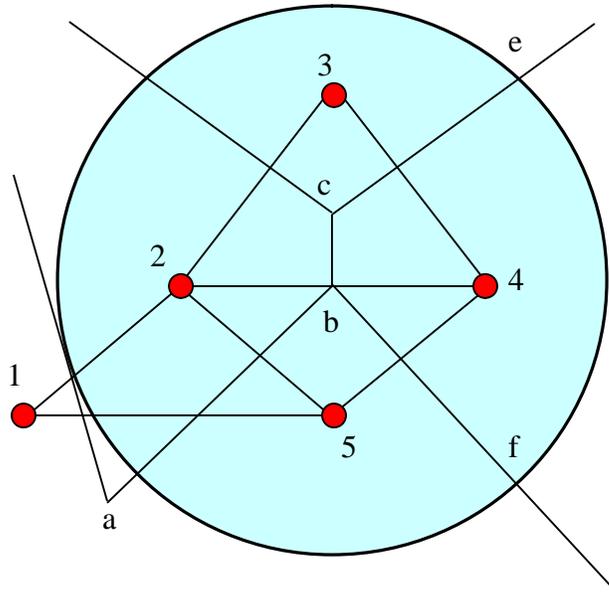
a_1 و a_2 و a_3 و \dots و a_n المساحات الداخلية المحصورة بين خطوط تساوي المطر.

تفضل هذه الطريقة على الطريقتين الأخرين خاصة عندما يكون هناك أعداد كبيرة من محطات مقاييس المطر.

مثال (4) / جابية مساحتها تساوي مساحة دائرة قطرها 100 كم تقريباً، تحتوي على محطات قياس المطر داخلها وعلى محطة واحدة خارجية، فإذا كانت إحداثيات مركز الجابية و المحطات الخمس هي كما مدرج أدناه وأن السقوط السنوي للمحطات الخمس لعام 1980 معلومة، إحسب معدل السقوط السنوي بطريقة ثيسن؟

المحطة	المركز	1	2	3	4	5
الإحداثيات	(100,100)	(30,80)	(70,100)	(100,140)	(130,100)	(100,70)
السقوط (سم)	-	85	135.2	95.3	146.4	102.2

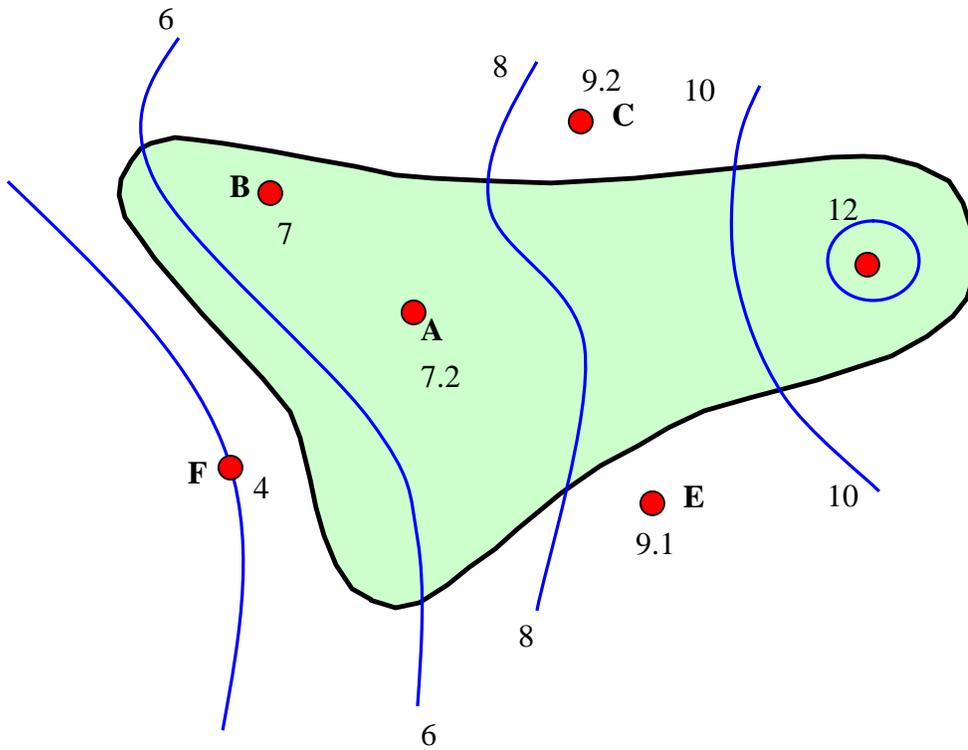
الحل /



Station	Boundary of Area	Area (Km ²)	Fraction of Total Area	Rainfall	Weighted P (cm)
1	-	-	-	85	-
2	Abcd	2141	0.2726	135.2	36.86
3	Dce	1609	0.2049	95.3	19.53
4	Ecbf	2141	0.2726	146.4	39.91
5	fba	1963	0.2499	102.2	25.54
Total		7854	1.0000		121.84

Mean Precipitation = 121.84 cm

مثال (5) / إحصاء معدل السقوط نتيجةً للمطر علماً أن الخطوط الكنتورية المطرية لمساحة الجابية موضحة في الشكل أدناه، و المساحة المحيطة بالخطوط المطرية مدرجة بالجدول أدناه:



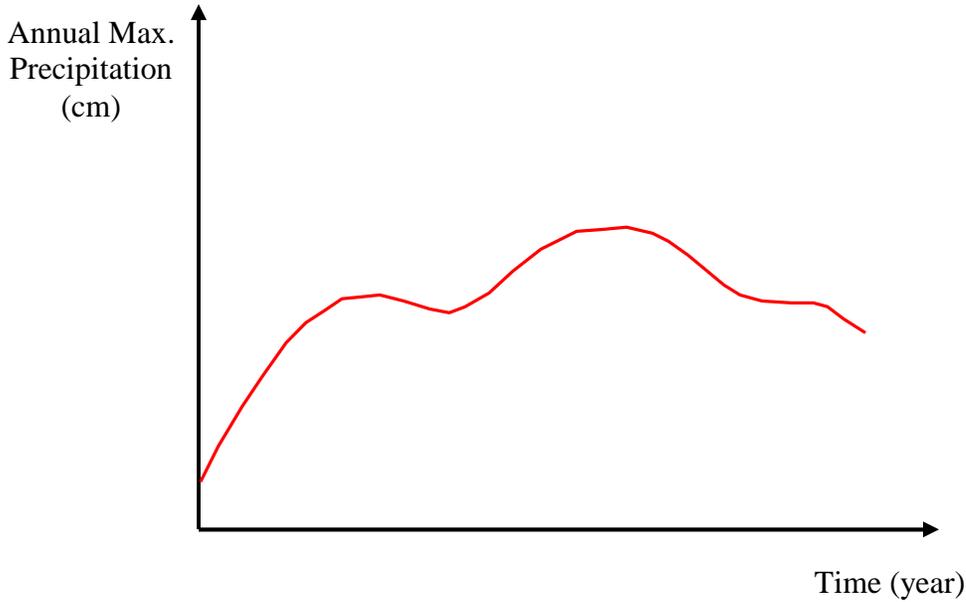
الحل /

العمود 5 = العمود 2 * العمود 4	Fraction of Area % (4)	Area (Km ²) (3)	2	1
0.8	0.0667	30	12	12
3.422	0.3111	140	11	12 - 10
1.6	0.1778	80	9	10 - 8
2.8	0.4000	180	7	8 - 6
0.222	0.0444	20	5	6 - 4
8.84 cm		450		

2.9 . تردد سقوط المطر الموقعي :

في كثير من تطبيقات الهندسة الهيدروليكية مثل الفيضانات ، يكون من الضروري معرفة احتمال سقوط عاصفة مطرية شديدة كأن تكون أقصى عاصفة إستدامتها 24 ساعة وإن مثل هذه المعلومات يمكن الحصول عليها من تحليل تردد البيانات الخاصة بالمطر الموقعي.

حيث ترسم العلاقة بين القيم القصوى السنوية للعاصفة المطرية بإستدامة (24) ساعة مثلاً إلى الزمن بالسنة حيث يعرف المنحني الناتج بالسلاسل السنوية للعاصفة المطرية.



إن احتمال حصول حادثة ما في هذه السلسلة يقع دراستها بتحليل التردد لبيانات هذه السلسلة السنوية و بالطرق الإحصائية المعروفة، إذ أن احتمال حصول حادثة ما (عاصفة مطرية) مقدارها يساوي أو يتجاوز قيمة معينة X يرمز لها بالرمز P وعليه تكون فترة التكرار recurrence interval (فترة العودة) :

$$T = 1/P \dots\dots\dots(1)$$

مثلاً، إذا أفترض أن فترة العاصفة المطرية التي تصل (20) سم في (24) ساعة تساوي (10) سنوات عند محطة معينة A فإن هذا يعني أن معدل مقادير المطر تساوي أو تتجاوز (20) سم في (24) ساعة تحدث مرة واحدة كل (10) سنوات أو (10) مرات كل (100) سنة وهذا لايعني بالتحديد حصولها كل (10) سنوات و عليه فإن احتمال حصول العاصفة المطرية أعلاه في أي سنة في محطة A هو :

$$P = 1/T \dots\dots\dots(2)$$

عدم احتمال حصول الحادثة P هو :

$$q = 1-P \dots\dots\dots(3)$$

- احتمال حصول الحادثة r في n من السنين المتعاقبة هو :

$$P_{r,n} = \frac{n!}{(n-r)!r!} P^r q^{(n-r)} \dots\dots\dots (4)$$

وعلى سبيل المثال :

أ. إن إحتمال حصول حادثة ذات إحتمالية تجاوز P و تحصل مرتين في n من السنين المتعاقبة هي:

$$P_{r,n} = \frac{n!}{(n-2)!2!} P^2 q^{(n-2)} \dots\dots\dots(4-a)$$

ب. إن إحتمال عدم حصول الحادثة في كل من n من السنوات المتعاقبة هي :

$$P_{0,n} = q^n = (1-P)^n \dots\dots\dots(4-b)$$

ج. إن إحتمال حصول الحادثة مرة واحدة على الأقل في n من السنوات هي :

$$P_1 = 1 - q^n = 1 - (1-P)^n \dots\dots\dots(4-c)$$

مثال (6) // التحليلات لأقصى عمق سقوط مطر ليوم واحد في منطقة معينة بينت أن العمق 280 ملم له فترة عودة لكل

50 سنة، إحسب الإحتمالية بحدوث عمق سقوط مطر ليوم واحد مساوٍ أو يزيد على 280 ملم :

أ. مرة في 20 سنة متوالية

ب. مرتين في 15 سنة متوالية

ج. مرة واحدة على الأقل في 20 سنة متعاقبة

الحل /

أ.

$$n = 20 , \quad r = 1 , \quad T = 50 , \quad P = 1/50 = 0.02$$

$$P_{1,20} = (20 !)/(19! * 1!) * 0.02 * (0.98)^{19} = 0.272$$

ب.

$$n = 15 , \quad r = 2$$

$$P_{2,15} = (15!)/(13!*2!)*(0,02)^2 * (0.98)^{13} = 0.0323$$

ج.

$$P_1 = 1 - (0.98)^{20} = 0.332$$

2. 10. صيغة تعيين المواقع : Plotting Position Criteria

الهدف من تحليلات التردد لسلسلة سنوية هو إستخراج العلاقة بين مقدار الحادثة و إحتمايتها المتجاوزة، و هذه التحليلات يمكن عملها إما بطريقة تجريبية (إختبارية) أو نظرية تحليلية.

إن إحدى التقنيات البسيطة هي أن تنظم السلسلة السنوية القصوى بصيغة تنازلية أو تصاعدية يعطى له تسلسل m (أي أن المدخل الأول $m = 1$ والثاني $m = 2$ و هكذا إلى آخر حادثة والتي فيها $m = N$ عدد سنوات التسجيل).

الإحتمالية P للحادثة مساوية أو تزيد أعطيت بقانون ويبيل (Weibull Formula)

$$P = m / (N+1) \quad \text{and} \quad T = 1 / P$$

مثال (6) / للمحطة A السجلات السنوية لأقصى سقوط مطر ل - 24 ساعة كما أعطيت أدناه:

أ. إحسب أقصى سقوط مطر ل - 24 ساعة مع فترات عودة 13 و 50 سنة

ب. ماهي الإحتمالية لسقوط المطر بمقدار يساوي أو يتجاوز 10 سم يحدث في 24 ساعة في المحطة A .

Year	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
Rainfall (cm)	13	12	7.6	14.3	16	9.6	8	12.5	11.2	8.9	8.9
Year	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
Rainfall (cm)	7.8	9	10.2	8.5	7.5	6	8.4	10.8	10.6	8.3	9.5

الحل /

m	Rainfall (cm)	P= m/(N+1)	T=1/P	m	Rainfall (cm)	P= m/(N+1)	T=1/P
1	16	0.043	23.26	12	9	0.522	1.92
2	14.3	0.087	11.5	13	8.9	-	-
3	13	0.13	7.67	14	8.9	0.609	1.64
4	12.5	0.174	5.75	15	8.5	0.652	1.53
5	12	0.217	4.6	16	8.4	0.696	1.44
6	11.2	0.261	3.83	17	8.3	0.739	1.35
7	10.8	0.304	3.29	18	8	0.783	1.28
8	10.6	0.348	2.88	19	7.8	0.826	1.21
9	10.2	0.391	2.56	20	7.6	0.87	1.15
10	9.6	0.435	2.3	21	7.5	0.913	1.1
11	9.5	0.478	2.09	22	6	0.957	1.05

من المنحني (محور Y مقياس إعتيادي (Rainfall) و محور X (Return Period (T)) مقياس لوغاريتمي) :

أ.

فترة العودة (سنة)	مقدار سقوط المطر (سم)
13	14.55
50	18

ب . سقوط مطر = 10 سم ، من المنحني قيمة $T = 2.4$ سنة

$$P = 0.417$$

الفصل الثالث

السحوبات من السقيط

(Abstraction from Precipitation)

3.1. عملية التبخر Evaporation :

هي العملية التي يتحول فيها السائل إلى الحالة الغازية عند السطح الحر قبل نقطة الغليان و خلال إنتقال الطاقة الحرارية، وإن صافي جزيئات الماء المتحولة من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية تكون التبخر. إذن فالتبخر هو عملية تبريد بشرط أن الحرارة الكامنة للتبخر (تقريباً 585 سعرة / غم للماء المتبخر) يجب أن تزود من كتلة الماء.

إن معدل التبخر يعتمد على :

1. ضغط البخار على سطح الماء و الهواء الذي فوقه.
2. درجات حرارة الماء و الهواء.
3. سرعة الرياح.
4. الضغط الجوي.
5. نوعية الماء.
6. حجم الكتلة المائية.

1. الضغط البخاري Vapor Pressure : يتناسب معدل التبخر مع الفرق بين ضغط البخار المشبع عند درجة حرارة

الماء e_w و ضغط البخار الحقيقي في الهواء e_a

$$E_L = C(e_w - e_a) \quad (\text{معادلة دالتون للتبخر})$$

وحداتها بالملم زئبق e_w, e_a ، ثابت C ، معدل التبخر (ملم/يوم) : E_L

حيث يستمر التبخر لحين وصول $e_a = e_w$ ، أما عندما تكون $e_w < e_a$ يحدث التكاثف.

2. درجة الحرارة Temperature : تزداد سرعة التبخر مع زيادة درجة الحرارة عند بقاء بقية العوامل ثابتة.

3. الرياح Wind : الرياح تساعد في رفع بخار الماء من منطقة التبخر ومن ثم تخلق مدى أكبر للتبخر فإذا كانت سرعة

الرياح كبيرة زادت معدلات التبخر لحد السرعة الحرجة والتي بعدها لا يكون لزيادة الرياح تأثير على سرعة التبخر.

4. الضغط الجوي Atmospheric Pressure : إذا كانت بقية العوامل ثابتة فإن الإنخفاض في الضغط البارومتري

عند المرتفعات العالية يزيد من التبخر.

5. الأملاح الذائبة Soluble Salts : عند إذابة الملح في الماء فإن الضغط البخاري للمحلول يكون أقل مما هو عليه في

حالة الماء النقي ولذا يقلل من معدله في تبخر الماء.

3. 2. مقاييس التبخر Evaporimeter :

يجري قياس مقدار الماء المتبخر من سطح الماء بالطرق الآتية :

1. استخدام بيانات قياس التبخر
2. معادلات التبخر التجريبية
3. الطرق التحليلية

3. 3. محطات قياس التبخر Evaporation Measurement Stations :

توصي منظمة WMO أن يكون الحد الأدنى من توزيع محطات قياس التبخر كما يأتي:

1. المناطق الجافة : محطة واحدة لكل 30000 كم².
2. المناطق المعتدلة - الرطبة : محطة واحدة لكل 50000 كم².
3. المناطق الباردة : محطة واحدة لكل 100000 كم².

3. 4. معادلات التبخر التجريبية Empirical Evaporation Eqs. :

تتوافر عدة من المعادلات التجريبية الموضوعة لحساب كمية التبخر باستخدام بيانات الأنواء الجوية المتوفرة، و معظم هذه المعادلات تستند على معادلة دالتون و التي يعبر عنها بالشكل العام الآتي:

$$E_L = k f(u) (e_w - e_a)$$

حيث k : معامل ، f(u) : دالة تصحيح لسرعة الرياح

3. 4. 1. معادلة ماير Meyer Eq. :

$$E_L = k_m (e_w - e_a) (1 + U_9/16)$$

U₉ : المتوسط الشهري لسرعة الرياح (كم/ساعة) عند إرتفاع 9 متر فوق الأرض :

معامل تتراوح قيمته بين (0.36 للبحيرات الكبيرة و 0.5 للبحيرات الضحلة الصغيرة) : K_m

3.4.2 . معادلة روهور Rohwer Eq. :

$$E_L = 0.771 (1.465 - 0.000732 P_a) (0.44 + 0.0733 V_o) (e_w - e_a)$$

P_a : معدل قراءة الباروميتر (ملم زئبق)

V_o : معدل سرعة الرياح (كم/ساعة) عند مستوى الارض والتي يمكن إعتبارها نفس السرعة على إرتفاع 0.6 متر فوق الأرض

ملاحظة / تستخرج قيم e_w من جدول (3 - 3) ص¹⁰³ في الكتاب المنهجي.

كما تستخرج سرعة الرياح على أي إرتفاع (U_h) بمعلومية أي سرعة رياح (U) و حسب المعادلة التالية:

$$U_h = U (h)^{1/7}$$

مثال (1) / بحيرة ماء مساحتها السطحية 250 هكتاراً تمتلك معدلات القيم الآتية خلال إسبوع، درجة الحرارة = 20⁰ م الرطوبة النسبية = 40 % ، سرعة الرياح على إرتفاع 1 م فوق الأرض = 16 كم/ساعة ، إحسب المعدل اليومي للتبخر من البحيرة و حجم الماء المتبخر خلال ذلك الإسبوع ؟

الحل / من الجدول (3-3) : $e_w = 17.54$ ملم زئبق

$$e_a = 0.4 * 17.54 = 7.02 \text{ mmHg}$$

$$U_9 = U_1 * (9)^{1/7} = 16 * (9)^{1/7} = 21.9 \text{ km/hr.}$$

باستخدام معادلة ماير :

$$E_L = 0.36 (17.54 - 7.02) (1 + 21.9/16) = 8.97 \text{ mm/day}$$

إذن حجم الماء المتبخر في 7 أيام (م³) هو :

$$7 * (8.97/1000) * 250 * 10^{-4} = 157000 \text{ m}^3$$

3.5 . الطرق التحليلية لتقدير التبخر Analytical methods for estimating Evaporation :

تصنف الطرق التحليلية لتقدير تبخر البحيرات إلى ثلاثة فئات :

1. طريقة الموازنة المائية
2. طريقة موازنة الطاقة
3. طريقة إنتقال الكتلة

1 . طريقة الموازنة المائية :Water Budget Method

$$P + V_{ig} + V_{is} = V_{og} + V_{os} + E_L + S + T_L$$

$$\text{Or : } E_L = P + (V_{is} - V_{so}) + (V_{ig} - v_{og}) - T_L - S$$

P : السقيط اليومي ، V_{ig} : جريان المياه الجوفية اليومي ، V_{og} : جريان التسرب الخارج (Seepage)
 V_{is} : الجريان السطحي الداخل إلى البحيرة (التصريف اليومي) ، E_L : التبخر اليومي للبحيرة
 V_{os} : الجريان السطحي اليومي الخارج من البحيرة ، T_L : فقدان النتج اليومي
S : الزيادة في خزين البحيرة اليومي

ملاحظة / إن جميع الكميات هي بوحدة حجوم (m^3) أو بوحدات عمق (ملم) فوق مساحة معلومة.

3. 6. معادلات التبخر الكلي. Evapotranspiration Eqs.

3. 6. 1. معادلة بنمان Penman Equation

$$PET = \frac{AH_n + E_a Y}{A + Y}$$

PET : التبخر الكلي الكامن اليومي (mm/day)

A : إنحدار منحنى ضغط البخار المشبع مقابل درجة الحرارة ($mmHg/C^0$) يستخرج من جدول (3-3) ص 103

Y : ثابت مقياس رطوبة الهواء = 0.49 ($mmHg/C^0$)

H_n : صافي الإشعاع (ملم) من مقدار الماء المتبخر لكل يوم

E_a : معيار يشمل سرعة الرياح و العجز في الإشباع

$$H_n = H_a(1 - r) (a + b(n/N)) - T_a^4 (0.56 - 0.092 \sqrt{e_a}) (0.1 + 0.9 (n/N))$$

$$a = 0.29 \cos$$

H_a : أشعة الشمس الساقطة خارج الجو فوق السطح الأفقي (mm/day) (جدول (3-4) ص 104)

r : معامل الإنكسار = 0.25

b = 0.52 ، n = فترة إستدامة إضاءة الشمس الحقيقية (بالساعات)

$N =$ أقصى عدد ساعات الإضاءة لضوء الشمس المتوقعة من جدول (3-5) ص 104

= معامل ستيفن - بولتزمان = 2×10^{-9} ملم / يوم

$$C^{\circ} + 273 = T_a$$

$$E_a = 0.35 (1 + (U_2 / 160)) (e_w - e_a)$$

U_2 : معدل سرعة الرياح على إرتفاع 2 متر فوق الأرض (كم/يوم)

مثال (2) / إحسب التبخر الكلي الكامن من منطقة قرب مدينة في شهر نوفمبر (تشرين الثاني) ، بإستعمال معادلة بنمان علماً أن المعلومات المتوفرة هي :

خط عرض $28^{\circ} 4$ فوق سطح البحر ، المعدل الشهري لدرجة الحرارة 19 درجة مئوية ، الرطوبة النسبية 75%
معدل ساعات ضوء الشمس المسجلة (n) = 9 ساعة ، سرعة الرياح على إرتفاع 2 م = 85 كم / يوم

الحل /

من جدول (3-3) $\Leftarrow A = 1$ ملم / C° و $e_w = 16.5$ ملم زئبق

من جدول (4-3) $\Leftarrow H_a = 9.5$ ملم / يوم

من جدول (5-3) $\Leftarrow N = 10.716$ ساعة

$$n / N = 9 / 10.716 = 0.84$$

$$e_a = 0.75 * 16.5 = 12.38 \text{ mmHg}$$

$$a = 0.29 \cos 28^{\circ} 4 = 0.2559 , b = 0.52 , r = 2 * 10^{-9}$$

$$T_a = 273 + 19 = 292 \text{ k} , T_a^4 = 14.613 , r = 0.25$$

$$H_n = 9.506(1 - 0.25) (0.2559 + 0.52*0.84) - 14.613(0.56 - 0.092 \sqrt{12.38})(0.1 + 0.9 (0.84))$$

$$H_n = 1.99$$

$$E_a = 0.35 (1 + (85/100)) (16.5 - 12.38) = 2.208 , Y = 0.49$$

$$PET = \frac{(1*1.99) + (0.49*2.208)}{(0.49+1)} = 2.06 \text{ mm / day}$$

3. 6. 2. معادلة بلاني - كريدل Blaney - Criddle formula :

$$PET = 2.54 K F$$

$$F = P_h \bar{T}_f / 100$$

K : معامل تجريبي يعتمد على نوع المحصول (جدول 3-7 ص 109)

F : المجموع الشهري لمعاملات المقنن المائي لتلك الفترة

P_h : نسبة شهرية للمعدل السنوي لساعات النهار و تعتمد على خط العرض للمنطقة (جدول 3-6 ص 109)

\bar{T}_f : المعدل الشهري لدرجات الحرارة (فهرنهايت)

مثال (3) / إستخدم معادلة بلاني - كريدل لحساب PET لفصل تشرين الثاني - شباط الذي ينمو فيه الحنطة لمنطقة معينة تقع على خط عرض 30° شمالاً وإن المعدل الشهري لدرجة الحرارة كما يأتي :

الشهر	تشرين 2	كانون 1	كانون 2	شباط
درجة الحرارة (م ⁰)	16.5	13	11	14.5

الحل /

من جدول (7-3) ص 109 \leftarrow K للحنطة = 0.65

Month	T_f (F ⁰)	P_h	$P_h T_f / 100$
تشرين 2	61.7	7.19	4.44
كانون 1	55.4	7.15	3.96
كانون 2	51.8	7.3	3.78
شباط	58.1	7.03	4.08

Total = 16.26

$$PET = 2.54 * 0.65 * 16.26 = 26.85 \text{ cm.}$$

3.8. الإرتشاح Infiltration:

هو جريان الماء في الأرض خلال سطح التربة حيث يبزل جزء منها خلالها و هذه الحركة للماء من السطح إلى الداخل تسمى (الإرتشاح) و تلعب دوراً مهماً جداً في عملية السيخ من خلال تأثيرها على التوقيت و التوزيع لمقدار الجريان السطحي (السيخ) ، وفضلاً عن ذلك فإن الإرتشاح هي مرحلة أولية لشحن (تغذية) المياه الجوفية الطبيعية. و عملية الإرتشاح تتأثر بعدد كبير من العوامل من أهمها ما يأتي:

1. خصائص التربة Soil Properties : إن نوع التربة مثل الرمل أو الغرين أو الطين مثل نسيجها، تركيبها، المسامية تعد من الخصائص المهمة لتحديد كمية الماء المترشح فكلما كانت جزيئات التربة مفككة وذات مسامية عالية، كانت كمية الماء النافذة إلى داخل التربة أكبر.

2. **سطح الدخول Surface of Entry** : إن إرتطام قطرات المطر فوق سطح التربة تسبب إزاحة للدقائق الناعمة ، وهي بدورها يمكن أن تسد فراغات المسام في الطبقات العليا، وبعد هذا عاملاً مهماً يؤثر على سعة الإرتشاح، وعليه فإن السطح المغطى بالحشائش و بقية النباتات التي بإستطاعتها تقليل هذه العملية لها تأثير كبير وواضح على قيمة سعة الإرتشاح.

3. **خصائص المائع Fluid Characteristics** : يحتوي الماء المرشح داخل التربة على عدد كبير من الشوائب الذائبة أو العالقة ، حيث أن تلوث الماء بالأملاح الذائبة مثلاً يمكن أن يؤثر على تركيب التربة و بدوره يؤثر على معدل الإرتشاح لكون أن مثل هذه الشوائب تسد المسامات الناعمة في التربة و تقلل سعة الإرتشاح فيها. أما درجة الحرارة فيبدو تأثيرها من حقيقة أنه يؤثر على لزوجة الماء والتي بدورها تؤثر على سرعة الإرتشاح.

3. 9. سعة الإرتشاح Infiltration Capacity

يطلق على المعدل الأقصى الذي يمكن فيه لتربة أن تمتص الماء في وقت ما مصطلح (سعة الإرتشاح) ويرمز له بالرمز (f_c) ويقاس بوحدة (سم / ساعة) . ويعبر عن المعدل الحقيقي للإرتشاح (f) كما يأتي :

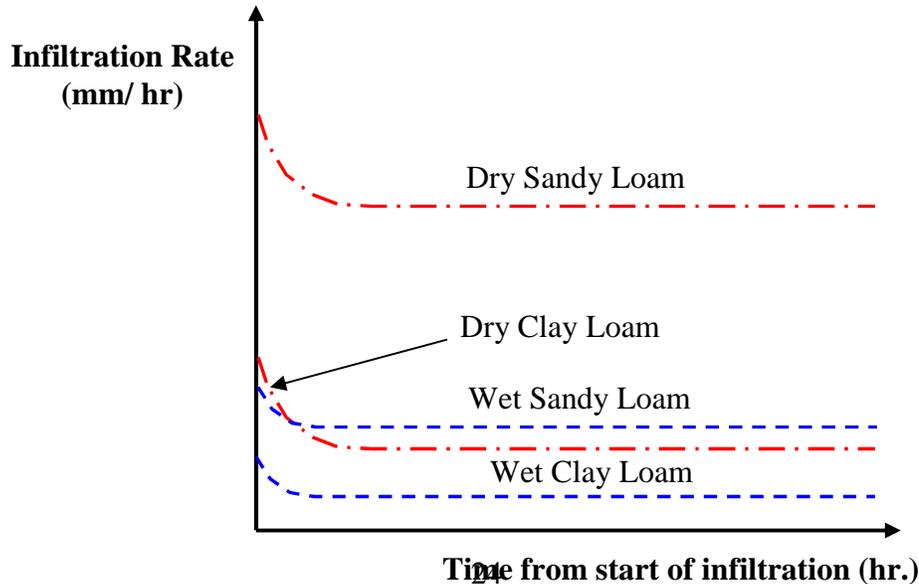
$$f = f_c \quad \text{if} \quad i > f_c$$

$$f = i \quad \text{if} \quad i < f_c$$

i : شدة المطر

3. 10. قيم سعة الإرتشاح Infiltration Capacity Values

إن التغير المثالي في سعة الإرتشاح لنوعين من التربة ولظرفين أوليين وكما موضح في الشكل :



يتضح من الشكل أن سعة الإرتشاح للتربة المدروسة يقل مع الوقت منذ بداية المطر وإنها تقل مع درجة التشبع وإنها تعتمد على نوع التربة، حيث إشتق هورتون (Horton) عام 1930 معادلة تلاشي سعة الإرتشاح مع الوقت كما يأتي:

$$f_{ct} = f_{cf} + (f_{co} - f_{cf}) e^{-k_h t} \quad 0 \leq t \leq t_d$$

f_{ct} : سعة الإرتشاح في أي وقت من بداية سقوط المطر

f_{co} : سعة الإرتشاح الأولية عند $t = 0$

f_{cf} : القيمة النهائية لوضعية الإستقرار

t_d : فترة إستدامة المطر

k_h : ثابت يعتمد على خصائص التربة والغطاء النباتي

3. 11. أدلة الإرتشاح **Infiltration Indices**: في الحسابات الهيدرولوجية التي تشمل الفيضانات، وجد

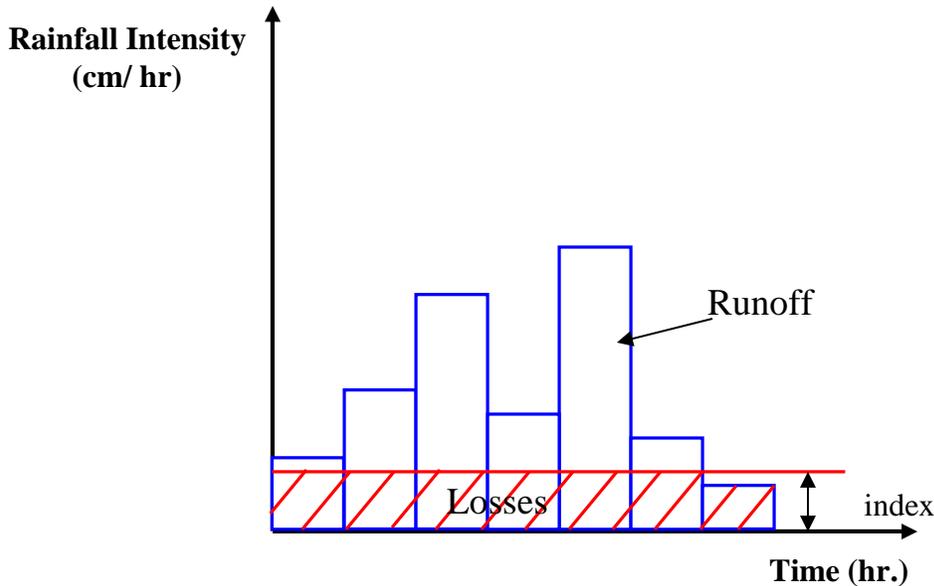
من الملائم إستخدام قيمة ثابتة لسرعة الإرتشاح خلال فترة إستدامة المطر، ويطلق على معدل سرعة الإرتشاح (أدلة الإرتشاح) ويوجد نوعين من الأدلة شائعة الإستعمال :

1. دليل

2. دليل W

1. الدليل : هو معدل سقوط المطر التي فوقها يكون حجم المطر الساقط مساوٍ لحجم السيج، ويشترك دليل توزيع المطر مع معرفة حجم السيج الناتج.

فإذا كانت شدة المطر (i) أقل من تكون سرعة الإرتشاح مساوية لشدة المطر (i) أكبر من فيكون الفرق بين سقوط المطر والإرتشاح خلال فترة زمنية يمثل حجم السيج كما في الشكل :



مثال (4) / عاصفة مطرية عمقها 10 سم ذات سيح مباشر مقداره 5.8 سم ، فإذا كان توزيع العاصفة المطرية كما هو موضح أدناه ، إحسب دليل للعاصفة المطرية

8	7	6	5	4	3	2	1	الوقت من البداية (hr)
0.5	1	1.6	1.8	2.3	1.5	0.9	0.4	الزيادة في المطر الساقط في كل ساعة (cm)

/ الحل

$$\text{الإرتشاح الكلي} = 10 - 5.8 = 4.2 \text{ سم}$$

أفرض $t_c =$ وقت الزيادة في المطر = 8 ساعة (كمحاولة أولى)

$$= 8 / 4.2 = 0.525 \text{ سم / ساعة (هذه القيمة أكبر من الزيادة المطرية للساعة الاولى (0.4) و الساعة الثامنة$$

(0.5) لذلك تصبح قيمة $t_c = 6$ ساعة)

$$\text{الإرتشاح} = 10 - 5.8 - 0.4 - 0.5 = 3.3 \text{ سم}$$

$$= 6 / 3.3 = 0.55 \text{ سم / ساعة (O.K)}$$

8	7	6	5	4	3	2	1	الوقت (hr)
0	0.45	1.05	1.25	1.75	0.95	0.35	0	الزيادة في المطر (cm)

2 . الدليل W : هو قيمة منقحة للدليل حيث تفصل المفقودات الأولية من المفقودات الكلية و يسمى معدل قيمة سعة

الإرتشاح (W) :

$$W = \frac{P - R - I_a}{t_c} \quad (\text{cm / hr})$$

P : السقيط الكلي (سم)

R : السيح الكلي (سم)

I_a : المفقودات الأولية (سم)

t_c : فترة إستدامة الزيادة في المطر عندما تكون $i > W$

السيح (Run - Off)

1.4.السيح : يعني السيح جريان أو تصريف السقيط من الجابية وخلال قناة سطحية موجودة في الجابية ويمثل الناتج منها في وحدة زمنية معينة.

إن الجريان أو السيح السطحي تحديداً مصطلح يطلق على الجريان الذي ينتقل فيه الماء كجريان فوق الأرض وخلال القنوات الموجودة في الجابية (مثل الجريان في قناة مفتوحة) ويصل فيه إلى مخرج المساحة، كما إن جزء السقيط الذي ينفذ إلى الجزء العلوي من التربة ويتحرك جانبياً خلالها ثم يعود إلى السطح من بعض الأماكن البعيدة عن النقطة التي دخل فيها إلى التربة، وهذه المركبة من السيح السطحي تعرف بأسماء مختلفة منها الجريان البيئي أو الجريان تحت السطحي (Subsurface Runoff).

أما الجزء الذي يصل إلى أعماق التربة ووصوله إلى خزين الماء الأرضي في التربة فيسمى جريان الماء الأرضي (Ground Water Runoff). يمكن تقسيم السيح السطحي إلى :

1. **السيح المباشر Direct Runoff :** وهو ذلك الجزء من السيح الذي يدخل الجدول مباشرةً بعد سقوط الأمطار، وهذه تتضمن الجريان فوق سطح الأرض و الجريان البيئي والمطر الذي يسقط مباشرةً فوق الأسطح المائية للجابية كذلك في حالة الثلوج الذائبة فإن الجريان الناتج عنها يعد سيحاً مباشراً.

2. **الجريان القاعدي Base Flow :** وهو الجريان المتأخر الذي يصل الجدول على نحوٍ فعال ويمكن أن يكون جزء من الجريان البيئي المتأخر كثيراً جريان قاعدي.

أن الجريان بالمجرى المائي يعد جرياناً حقيقياً في الظروف الطبيعية وبدون تدخل الإنسان، مثل هكذا نوع من الجريان يسمى الجريان البكر (Virgin Flow) ويمكن الحصول على قيمته من العلاقة التالية:

$$R_v = V_s + V_d - V_r$$

R_v : الجريان البكر (m^3)

V_s : حجم الجريان المقاس (m^3)

V_d : حجم الجريان المأخوذ أو المحول من الجدول

V_r : حجم الجريان العائد إلى الجدول (m^3)

(1) / الجدول الآتي يعطينا قيماً لتصريف مقاس في موقع قياس التصريف خلال سنة. في موقع المقدمة لقياس التصريف (Upstream) عبر الجدول لكي يحول 3 0.5 مليون متر مكعب (Mm³) من الماء لكل شهر لأغراض الري و الصناعة على التوالي، والماء العائد إلى الجدول والذي يصب في الـ (Upstream) تم خمينه بمقدار 0.8 مليون متر مكعب 0.3 مليون متر مكعب لأغراض الصناعة ، ضمن الجريان البكر إذا كانت مساحة الجابية 120 2² ومعدل سقوط الأمطار السنوي هو 185 سم ، أوجد نسبة السيج –

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
الجريان المقاس Mm ³	2	1.5	0.8	0.6	2.1	8	18	22	14	9	7	3

$$V_r = 0.8 + 0.3 = 1.1 \text{ Mm}^3$$

$$V_d = 3 + 0.5 = 3.5 \text{ Mm}^3$$

Rv لكل شهر من أشهر السنة يتم ترتيبها بالجدول التالي :

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
V _s	2	1.5	0.8	0.6	2.1	8	18	22	14	9	7	3
V _d	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
V _r	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
Rv	4.4	3.9	3.2	3	4.5	10.4	20.4	24.4	16.4	11.4	9.4	5.4

$$Rv = 116.8 \text{ Mm}^3$$

$$\text{Annual Runoff} = 116.8 * 10^6 / 120 * 10^6 = 0.973 \text{ m.} = 97.3 \text{ cm.}$$

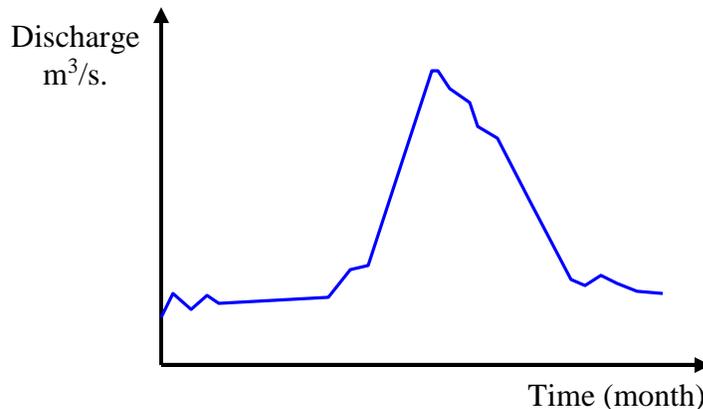
$$\text{Runoff Coefficient} = \text{Runoff} / \text{Rainfall} = 97.3 / 185 = 0.526$$

2.4. خصائص السيج للجدول Runoff Characteristics of Streams

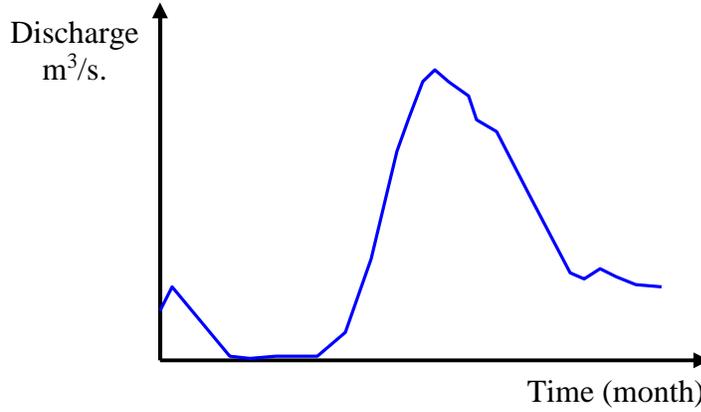
إن دراسة الهيدروغرافات السنوية تمكننا من تصنيف الجداول إلى ثلاثة أصناف :

1. **المجري المائية المستمرة** : وهي التي تحتوي على ماء طول الوقت وتجهز بالماء الأرضي خلال السنة وحتى

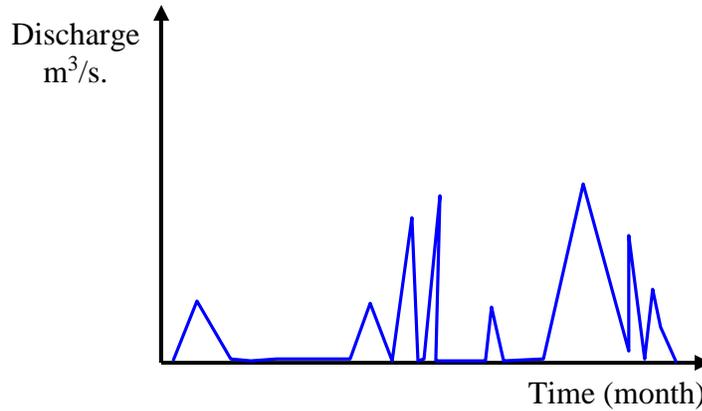
خلال فصول الجفاف فإن منسوب الماء الأرضي يكون فوق قاع المجرى.



2. **المجري المائية المتقطعة** : وهي التي يكون تجهيزها بالماء الأرضي محدوداً.



3. **السيول** : وهي المجري المائية التي ليس فيها أي مشاركة للجريان القاعدي ، حيث يتضح من الشكل أدناه ذبذبات الجريان العالي العائد للعاصفة المطرية وسرعان ما يصبح الجدول جافاً حال إنتهاء الجريان العائد للعاصفة.



وبصورة عامة فإن خصائص الجريان للجدول تعتمد على:

1. **خصائص الأمطار** : قيمة الشدة المطرية ، توزيع الشدة حسب الزمان و المكان وتغيراتها.
2. **خصائص الجابية** : مثل التربة و الغطاء النباتي و الميل ، جيولوجية و شكل الجابية و كثافة البزل.
3. **العوامل المناخية** : التي تؤثر على التبخر الكلي.

3.4. **الحصيلة (حجم السيلح السنوي) :**

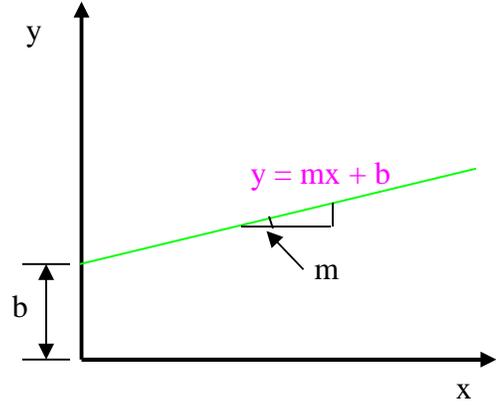
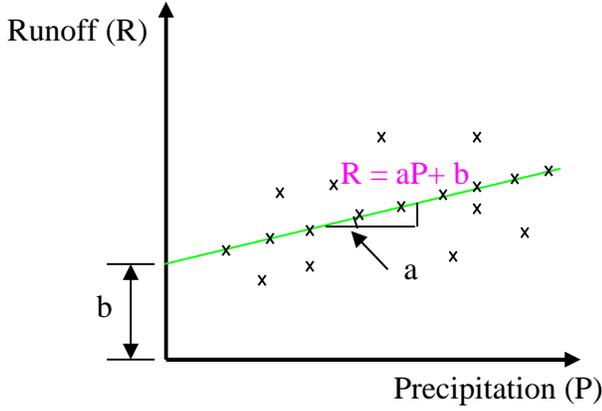
هي الكمية الكلية للماء التي نتوقعها من الجدول خلال فترة معلومة من السنة وهي تمثل حجم السيلح السنوي :

$$\text{الحصيلة} = \text{التصريف} \times \text{الزمن}$$

وهناك عدة طرق في تخمين الحصيلة منها:

1. الإرتباط بين المجرى المائي و الأمطار.
2. المعادلات التجريبية.
3. تمثيل الجابية.

1. إرتباط الأمطار - السيج :



$$R = a P + b \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$a = \frac{N(\sum PR) - (\sum P)(\sum R)}{N(\sum P^2) - (\sum P)^2} \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$b = \frac{\sum R - a \sum P}{N} \quad \dots\dots\dots (3)$$

N : عدد مجاميع الملاحظات لـ R , P

$$r = \frac{N(\sum PR) - (\sum P)(\sum R)}{\sqrt{[N(\sum P^2) - (\sum P)^2] * [N(\sum R^2) - (\sum R)^2]}} \quad \dots\dots\dots (4)$$

ملاحظة / قيمة $0 < r < 1$ \longleftarrow R لها إرتباط موجب مع P
 $0.6 < r < 1$ \longleftarrow R لها إرتباط جيد مع P

للجوابي الكبيرة، فإن العلاقة بين R و P علاقة أسية :

$$R = P^m \quad \dots\dots (5)$$

$$\ln R = m \ln P + \ln \quad \dots\dots (6)$$

(2) / المعلومات المعطاة في الجدول أدناه هي الأمطار الشهرية P وقيم السيج R المرادفة لها والتي 18 شهراً لجابية . طور معادلة الارتباط بين P R .

R(cm)	P(cm)	الشهر	R(cm)	P(cm)	الشهر
8	30	10	0.5	5	1
2.3	10	11	10	35	2
1.6	8	12	13.8	40	3
0	2	13	8.2	30	4
6.5	22	14	3.1	15	5
9.4	30	15	3.2	10	6
7.6	25	16	0.1	5	7
1.5	8	17	12	31	8
0.5	6	18	16	36	9

$$N = 18 , \quad P = 348 , \quad R = 104.3 , \quad P^2 = 9534 , \quad R^2 = 1040.51 , \quad PR = 3083.3$$

$$(P)^2 = 121104 , \quad (R)^2 = 10878.49$$

$$a = 0.38 , \quad b = - 1.55 , \quad R = 0.38 P - 1.55$$

r = 0.964 لها إرتباط جيد و موجب مع P درجة الإرتباط جيدة

3.4. المعادلات التجريبية Empirical Equation :

من أهم المعادلات الوضعية التي تربط بين الأمطار والسيح السطحي هي معادلة (خوسلاس 1960) حيث توصل إلى معادلة تجريبية تربط ما بين الأمطار والسيح السطحي والفترة الزمنية المأخوذة (بالشهر).

$$R_m = P_m - L_m$$

$$L_m = 0.48 T_m$$

$$T_m > 4.5^\circ C$$

R_m : ($R_m = 0$) السيج السطحي الشهري (سم)

P_m : الأمطار الشهرية (سم)

L_m : الضائعات الشهرية (سم)

T_m : متوسط درجة الحرارة الشهرية للجابية (بالدرجة المئوية)

لقيم T_m أقل أو مساوية 4.5 درجة مئوية ، الضياع (L_m) يمكن فرضه كما يأتي :

T(°C)	4.5	-1	- 6.5
L_m (cm)	2.77	1.78	1.52

(3) / تم الحصول على المعدل الشهري للأمطار ودرجات الحرارة لجابية ، إحسب السيج السطحي السنوي و معامل السيج بإستعمال معادلة خوسلاس.

الشهر	2	نيسان	آيار	حزيران		أيلول	تشرين 1	تشرين 2	1
T(°C)	12	16	21	27	31	29	28	29	14
(cm)	4	4	2	0	2	12	2	1	2

بما أن قيم T_m أكبر من 4.5 درجة مئوية

$$L_m = 0.48 T_m$$

الشهر	2	نيسان	آيار	حزيران		أيلول	تشرين 1	تشرين 2	1
L_m	5.76	7.68	10.08	12.96	14.88	13.92	13.44	13.92	6.72
R_m	0	0	0	0	0	15.08	2.56	0	0

السيح السطحي السنوي = 2.56 + 15.08 + 17.12 = 34.76 سم

معامل السيح السطحي السنوي = 106 / 34.8 = 0.328

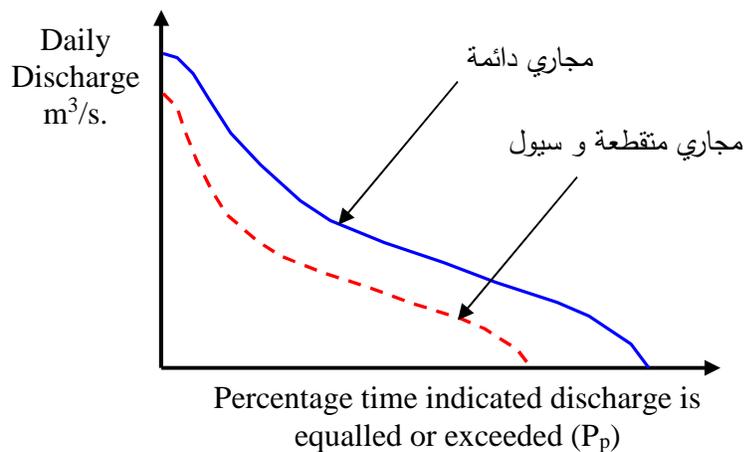
4.4. منحنى الجريان - الإستدامة Flow - Duration Curve

هو العلاقة بين التصريف ضد النسبة المئوية التي يكون فيها الجريان مساوياً أو متجاوزاً ، ويعرف هذا المنحنى أيضاً بمنحنى التصريف التكراري. فإذا كان عدد نقاط المعلومات المستعملة هو N في هذه القائمة ، فإن تعيين المواقع (Plotting Position) لأي تصريف Q هي:

$$P_p = \frac{m}{N+1} * 100$$

قيمة الصف التي يكون فيها الجريان مساوياً أو متجاوزاً لعدد الأيام في فترة الصف : m

النسبة المئوية للإحتمال لقيمة الجريان المساوية أو المتجاوزة : P_p



5.4. خصائص منحنى الجريان - الإستدامة - Flow - Duration Curve Characteristics:

1. ميل المنحنى يعتمد على الفترة المختارة للمعلومات (كلما كانت الفترة الزمنية قليلة كلما كان الميل أشد).
2. إن وجود الخزان على المجرى المائي يؤثر على منحنى الجريان - الإستدامة البكر وهذا يعتمد على طبيعة تنظيم الجريان.
3. منحنى الجريان - الإستدامة عندما يعين على ورق لوغاريتمي يكون على شكل خط مستقيم و على الأقل في الجزء الوسطي من المنحنى و يشتق منه معاملات مختلفة تبين التغيير في الجريان، كذلك يستفاد منه في مقارنة خصائص الجريان للمجري المائية المختلفة.
4. إن التقويم التكراري لحدوث الجريان في منحنى الجريان - الإستدامة لا يظهر تأثيرها في المنحنى. ومن فوائد هذا المنحنى :

1. تقويم الجريانات المختلفة المعتمدة في التصميم أو هندسة مشاريع المصادر المائية.
2. تقويم خصائص الطاقة الكامنة للطاقة المائية للنهر (HydroPower) .
3. تصميم منظومات البزل.
4. دراسات السيطرة على الفيضان.
5. مقارنة الجوابي المتقاربة مع إمكانية تحديد الجريان في المجاري المائية.

مثال (4) / الجريان اليومي لنهر لثلاث سنوات متعاقبة موجودة في الجدول أدناه، أيضاً يحتوي الجدول على عدد أيام الجريان السنوية العائدة لكل تصريف

عدد أيام الجريان لكل فترة زمنية			الجريان اليومي (m ³ /s)
1964 - 1963	1963 - 1962	1962 - 1961	
5	1	0	140 - 120.1
10	7	2	120 - 100.1
15	18	12	100 - 80.1
15	32	15	80 - 60.1
45	29	30	60 - 50.1
64	60	70	50 - 40.1
76	75	84	40 - 30.1
61	50	61	30 - 25.1
38	45	43	25 - 20.1
25	30	28	20 - 15.1
12	18	15	15 - 10.1
0	0	5	10 - 5.1

50% 75% جريانات معتمدة للنهر.

يتم حساب قيمة P_p (محور X) حسب القانون :

$$P_p = \frac{m}{N+1} * 100$$

مقياس لوغاريتمي

مقابل قيم التصريف المعطاة في السؤال (مقياس إعتيادي محور Y).

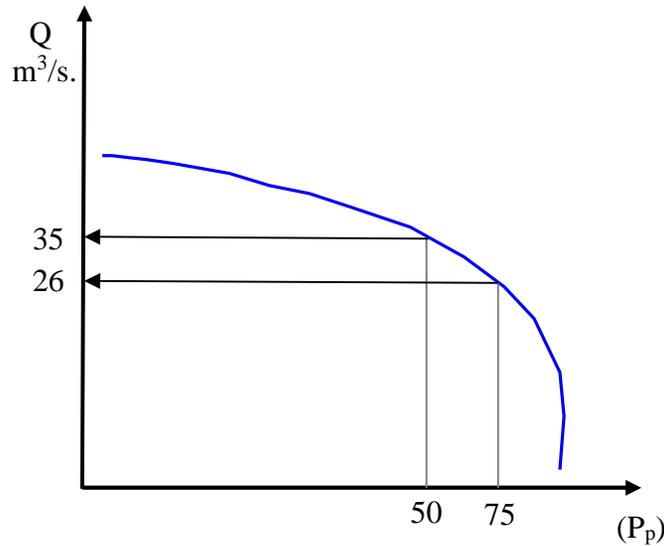
$P_p = \frac{m}{N+1} * 100$	عدد أيام الجريان (m)	عدد أيام الجريان 1964-1961	عدد أيام الجريان لكل فترة زمنية			الجريان اليومي (m ³ /s)
			1964 - 1963	1963 - 1962	1962 - 1961	
0.55	6	6	5	1	0	140-120.1
2.28	25	19	10	7	2	120-100.1
6.38	70	45	15	18	12	100-80.1
12.03	132	62	15	32	15	80-60.1
21.51	236	104	45	29	30	60-50.1
39.19	430	194	64	60	70	50-40.1
60.62	665	235	76	75	84	40-30.1
76.3	837	172	61	50	61	30-25.1
87.78	963	126	38	45	43	25-20.1
95.35	1046	83	25	30	28	20-15.1
99.45	1091	45	12	18	15	15-10.1
99.91	1096	5	0	0	5	10-5.1

1096

من المنحني : $N = 1096$

$$Q_{50} = 35 \text{ م}^3 / \text{ثا}$$

$$Q_{75} = 26 \text{ م}^3 / \text{ثا}$$

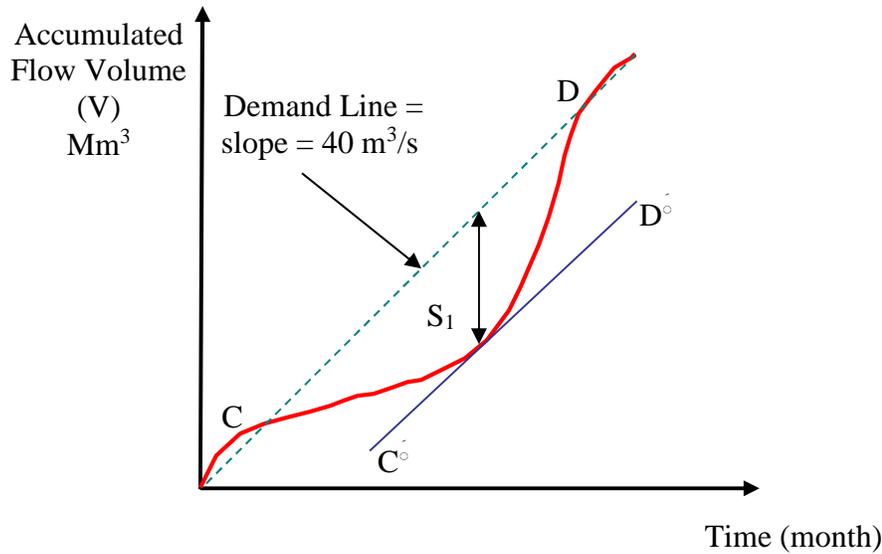


ويمكن الحصول على قيمة S من المنحني التراكمي بحساب أكبر فرق في الإحداثي الصادي (Accumulated Volume) بين المنحني التراكمي للتجهيز و الطلب ، لأن أقل حجم للخرن مطلوب للخران هو أكبر قيمة لـ S فوق فترات الجفاف المختلفة.

مثال (5) / الجدول الآتي يعطينا معلومات عن المعدل الشهري للجريان في نهر خلال سنة ، إحسب أوطأخرن نحتاجه للحفاظ على معدل للطلب هو $40 \text{ m}^3/\text{s}$ /

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
معدل الجريان m^3/s	60	45	35	25	15	22	50	80	105	90	80	70

الشهر	معدل الجريان m^3/s	حجم الجريان الشهري $\text{m}^3/\text{s} \cdot \text{day}$	الحجم التجميعي $\text{m}^3/\text{s} \cdot \text{day}$
1	60	1860	1860
2	45	1260	3120
3	35	1085	4205
4	25	750	4955
5	15	465	5420
6	22	660	6080
7	50	1550	7630
8	80	2480	10110
9	105	3150	13260
10	90	2790	16050
11	80	2400	18450
12	70	2170	20620



من المنحني :

$$\text{For } Q_d = 40 \text{ m}^3/\text{s.} \implies S_1 = 2100 \text{ m}^3/\text{s. day}$$

(6) / حل المسألة السابقة باستخدام الحسابات الرياضية و بدون إستخدام منحني الكتلة

الشهر	معدل الجريان m ³ /s	حجم الجريان الشهري m ³ /s. day	معدل الطلب m ³ /s	حجم الطلب (cumecc.day)	الفرق Col(3)-col(5)	حجم الطلب التجميعي الأقصى (cumecc day)	حجم الجريان التجميعي الأقصى (cumecc day)
1	60	1860	40	1240	620		620
2	45	1260	40	1120	140		760
3	35	1085	40	1240	-155	-155	
4	25	750	40	1200	-450	-605	
5	15	465	40	1240	-755	-1380	
6	22	660	40	1200	-540	-1920	
7	50	1550	40	1240	310		310
8	80	2480	40	1240	1240		1550
9	105	3150	40	1200	1950		3500
10	90	2790	40	1240	1550		6050
11	80	2400	40	1200	1200		7250
12	70	2170	40	1240	930		8180

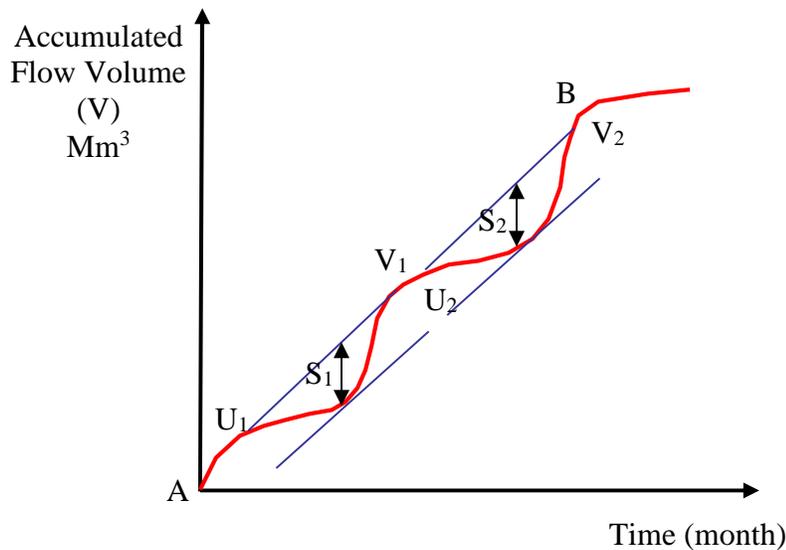
إذن أعظم طلب أو أوطأ خزن (من عمود 7) = 1920 m³/s. day

ملاحظة/

العمود 8 يشير إلى الزيادة التجميعة لحجم الجريان الداخل إبتداءً من كل طلب سحب من الخزان.

8.4. حسابات الطلب المقبول : Calculation of Maintainable Demand

هو تعين الطلب الأعظم الذي من الممكن أن نحافظ عليه من خزان معروف الحجم من خلال إستعمال منحني التراكم.

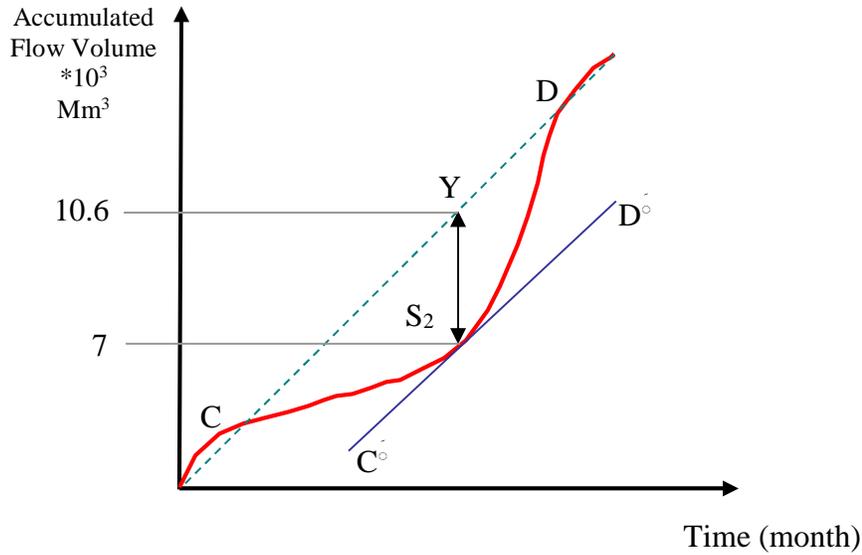


من أهم النقاط التي يمكن ملاحظتها بعناية في إستعمال منحنى التراكم :

1. المسافة الرأسية ما بين مماسين متعاقبين لمنحنى التراكم في نقطة الإرتفاع (نقطة V_1 و U_2) تمثل الماء المزاح عبر المسيل المائي.
2. إن خط الطلب يجب أن يقاطع منحنى الكتلة فيما إذا كان الخزان مهياً للإمتلاء ، أما إذا لم يتقاطع خط الطلب مع المنحنى فهذا يشير إلى عدم كفاية الجريان الداخل إلى الخزان.

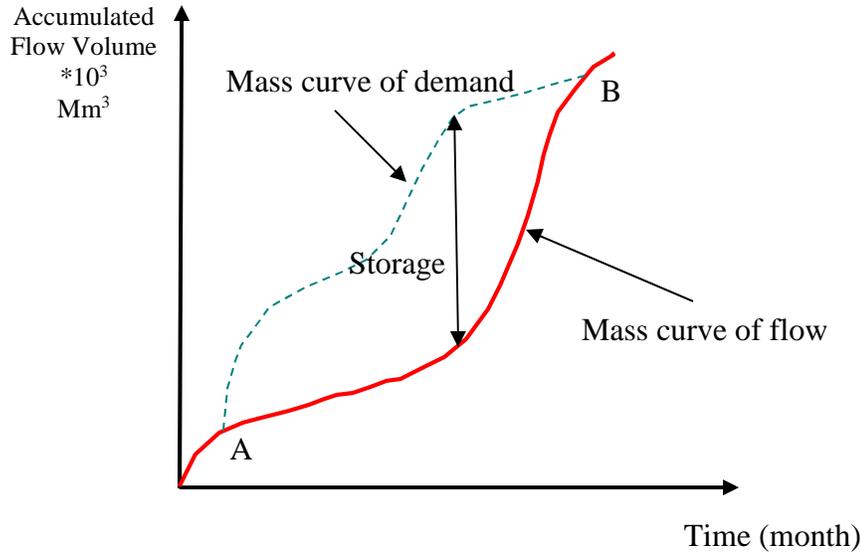
(7) / إستعمل منحنى الكتلة للمثال السابق لكي نحصل على أعلى معدل منتظم يمكن أن نحافظ عليه لخزن قيمته $3600 \text{ م}^3/\text{ثا.يوم}$ ؟

1. / من أوطأ نقطة في تقعر المنحنى نرسم مسافة عمودية مقدارها $3600 \text{ م}^3/\text{ثا.يوم}$
2. نرسم مماساً للمنحنى من نقطة التحدب الأولى (C) بإتجاه نقطة (Y) ثم نقطة (D) وهي نقطة تقاطع الخط المستقيم الناتج مع منحنى الكتلة.
3. يحسب ميل الخط المستقيم CYD وهو ($50 \text{ م}^3/\text{س.}$) وهو يمثل معدل الطلب المنتظم.



9.4. الطلب المتغير Variable Demand:

وهو التغير في معدل خط الطلب مع الوقت لتلبية الإحتياجات المائية المستعملة في السقي و الطاقة و إحتياجات الإسالة.



ملاحظة / الخزان مملوء في نقطتي A و B .

(8) / تم جمع المعلومات التالية لخزان مقترح. ض أن معدل مساحة الخزان هي 20² خمن الخزين الذي نحتاجه حتى نوفي هذه المتطلبات . أفرض أن معامل السيج للمساحة المغمورة بواس الخزان يساوي 0.5

الشهر	متوسط الجريان m ³ /s	الطلب Mm ³	التبخر الشهري (cm)	الأمطار الشهرية (cm)
1	25	25	12	2
2	20	26	13	2
3	15	27	17	1
4	10	29	18	1
5	4	29	20	1
6	9	29	16	13
7	100	19	12	24
8	108	19	12	19
9	80	19	12	19
10	40	19	12	1
11	30	21	11	6
12	30	25	7	2

$$\text{حجم التبخر} = 10^6 \times 20 \times E/100 = 0.2 E \text{ Mm}^3$$

$$\text{حجم الأمطار} = 10^6 \times 20 \times (0.5-1) P/100 = 0.1 P \text{ Mm}^3$$

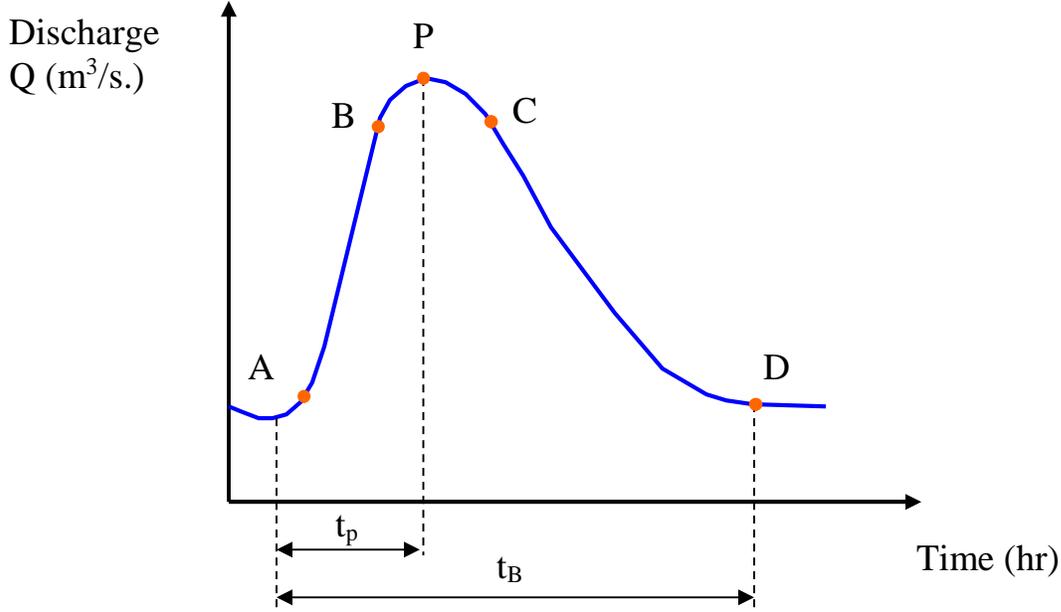
الزيادة التجميعية لحجم الجريان Mm^3	الزيادة التجميعية للطلب Mm^3	الفرق Mm^3	السحب الكلي (5+4+3) Mm^3	الكمية المسحوبة			الحجم الداخل Mm^3	الشهر
				الأمطار Mm^3	التبخر Mm^3	الطلب Mm^3		
9	8	7	6	5	4	3	2	1
39.8	-	39.8	27.2	-0.2	2.4	25	67	كانون 2
60.2	-	20.4	28.4	-0.2	2.6	26	48.8	شباط
70.1	-	9.9	30.3	-0.1	3.4	27	40.2	آذار
-	-6.6	-6.6	32.5	-0.1	3.6	29	25.9	نيسان
-	-28.8	-22.2	32.9	-0.1	4	29	10.7	أيار
-	-36.4	-7.6	30.9	-1.3	3.2	29	23.3	حزيران
248.8	-	248.8	19	-2.4	2.4	19	267.8	تموز
518.6	-	269.8	19.5	-1.9	2.4	19	289.3	آب
706.5	-	187.9	19.5	-1.9	2.4	19	207.4	أيلول
792.3	-	85.8	21.3	-0.1	2.4	19	107.1	تشرين 1
847.5	-	55.2	22.6	-0.6	2.2	21	77.8	تشرين 2
899.7	-	52.2	28.2	-0.2	3.4	25	80.4	كانون 1

أعظم طلب = 36.4 مليون متر مكعب

الفصل الخامس

الهيدروغراف (Hydrograph)

1.5. الهيدروغراف : هو تعيين للتصريف في مجرى مائي أو على جابية معينة نتيجة عاصفة مطرية ضد الزمن.



الشكل أعلاه يمثل هيدروغراف العاصفة أو هيدروغراف الفيضان ، وإن هذا الهيدروغراف له عدة مركبات أهمها:

- 1. الطرف الصاعد AB (Rising Limb) :** وهو الزيادة في التصريف بسبب الزيادة التدريجية في بناء الخزين في القنوات فوق سطح الجابية . إن الضائعات الأولية وضائعات الترشح العالية خلال الفترة الأولى من سقوط العاصفة المطرية تسببان زيادة بطيئة في التصريف وبإستمرار العاصفة أكثر فأكثر فإن الجريان من أبعد نقطة في المساحة سوف يصل إلى مخرج الجابية و بالوقت نفسه فإن ضائعات الترشح سوف تقل مع مرور الوقت ولهذا فإنه بسقوط عاصفة منتظمة فوق الجابية فإن السيج سوف يزداد بسرعة مع الوقت.
- 2. قطعة الحافة BC (Crest Segment) :** وهي أحد الأجزاء المهمة من الهيدروغراف لأنها تحتوي على ذروة الجريان والتي تحدث عندما تشارك أجزاء مختلفة من الجابية بنفس الوقت في إيصال كمية الجريان إلى الحالة العظمى في مخرج الجابية .
- 3. الذروة P (Peak) :** النقطة الواقعة بين نقطتي الإنقلاب B و C .

4. **الطرف الهابط (منحني الانحسار) (Recession Limb) CD:** إن منحني الانحسار يمتد من نقطة الانقلاب في نهاية قطعة الحافة إلى وقت بدء أو شروع الماء الأرضي بالجريان ويمثل لنا عملية سحب الماء من الخزين الذي تم خزنه في الجابية خلال المرحلة الأولى من الهيدروغراف.

إن نقطة البداية لمنحني الانحسار (أي نقطة الانقلاب الثانية) تمثل حالة الخزين الأعظم وحيث أن نفاذ الخزين يحدث بعد توقف سقوط الأمطار، لذلك فإن شكل هذا الجزء من الهيدروغراف لا يعتمد على خصائص العاصفة المطرية بل يعتمد اعتماداً كلياً على خصائص الجابية.

5. **وقت الذروة (t_p (Peak Time) :** الوقت من النقطة A حتى نقطة P .

6. **زمن القاعدة (t_B (Base Time)**

إن الهيدروغراف يمثل حالات السيح بأشكالها الثلاثة:

1. السيح السطحي Surface Runoff 2. الجريان البيئي Inter Flow 3. الجريان القاعدي Base Flow

كذلك يتضمن التأثيرات الكاملة للاختلافات الكبيرة بين خصائص الحوض و خصائص العاصفة المطرية ، لذلك فإن عاصفتين مطريتين تسقطان على حوض واحد لهما هيدروغراف يختلف فيها الواحد عن الآخر ، وبالمثل فإن العواصف المتشابهة في جابيتين تنتج لنا هيدروغرافاً الواحد فيها مختلف عن الآخر .

وعلى هذا الأساس فإن فحص عدد من سجلات هيدروغراف الفيضان للمجاري المائية ، يلاحظ أن قسماً منها يحتوي على عدة ذروات للفيضان في حين أن الهيدروغراف البسيط يحتوي على ذروة واحدة كما في الشكل السابق.

2.5. العوامل المؤثرة على هيدروغراف الفيضان :

إن العوامل المؤثرة على شكل الهيدروغراف من الممكن تصنيفها إلى:

أولاً: عوامل الجغرافية الطبيعية :

1. **خواص الحوض**

أ. **شكل الحوض:** يؤثر الشكل في الوقت الذي يستغرقه الماء حتى يصل من الأجزاء البعيدة من الجابية إلى مخرجها، وبناءً عليه فإن نقطة الذروة و شكل الهيدروغراف يتأثر بصورة مباشرة بشكل الحوض.

ب. **حجم الحوض:** إن الأحواض الصغيرة تنصرف على نحو مختلف عن الأحواض الكبيرة وخاصةً بالنسبة إلى طبيعة وأهمية الحالات المختلفة للسيح، وفي الجوابي الصغيرة فإن حالة الجريان و الشدة المطرية تلعبان دوراً مهماً في تحديد ذروة الفيضان في مثل هذه الجوابي. أما في الكبيرة منها فإن هذه التأثيرات تكون مخفية ويكون نوع الجريان السائد ه الجريان في القناة.

ج. الميل : إن ميل المجرى المائي الرئيسي يعد أحد الأمور المؤثرة على سرعة الجريان في القناة ، وحيث أن منحنى الإنحسار في الهيدروغراف يمثل نزع الخزين (depletion of storage) من الجابية فإن من العوامل التي لها تأثير واضح على ذلك ميل القناة للمجري المائي ، حيث كلما كان الميل كبيراً فإن نزع الخزين يكون سريعاً وميل منحنى الإنحسار يصبح شديداً وكنتيجة لذلك يكون وقت القاعدة للهيدروغراف صغيراً.

د. كثافة البزل : هي النسبة بين مجموع أطوال القنوات الموجودة بالجابية إلى المساحة الكلية للجابية ، وكلما كانت كثافة البزل عالية فإن ذروة التصريف تكون عالية وفي حالة كون كثافة البزل قليلة فإن الجريان فوق سطح الأرض هو السائد و الهيدروغراف الناتج له ذروة تصريف واطئة وطرف صاعد بطيء ، كما إن قطعة الحافة تكون عريضة نسبياً.

هـ . طبيعة الوديان

و. الإرتفاع

2. خصائص الترشيح :

أ. إستعمالات الأرض و الغطاء النباتي : إن وجود الغطاء النباتي يزيد من نفاذية التربة ومن السعة الخزنية لها أي إن إستيعابها للماء بكمية أكبر، وفضلاً عن ذلك فإنها تعمل على تأخير جريان الماء فوق سطح الأرض ، وعلى هذا الأساس فإن الغطاء النباتي يقلل ذروة الجريان و هذا التأثير يكون واضحاً في الجوابي التي تقل مساحتها عن 150 كم² ويكون تأثيره كبيراً جداً في حالة الأمطار القليلة.

ب. نوع التربة و الظروف الحبيولوجية

ج. وجود البحيرات والمستنقعات ومناطق الخزن الأخرى

3. خصائص القناة : مثل مقطع الخشونة و السعة الخزنية.

ثانياً: العوامل المناخية :

1. خصائص العاصفة المطرية من حيث الشدة و الإستدامة وإتجاه حركة العاصفة المطرية

حيث أن ذروة و حجم السيح السطحي تتناسب طردياً مع شدة وإستدامة العاصفة المطرية، كما إن حركتها من أعلى الجابية إلى أسفلها فإن هذا يعني أن تركيزاً عالياً و سريعاً للجريان يمكن أن يحصل في مخرج الجابية وينتج لنا هيدروغرافاً له ذروة فيضان واطئة ووقت القاعدة فيه طويل.

2. الضائعات الإبتدائية

3. التبخر الكلي

3.5. معادلة منحنى الإنحسار. Recession Curve Eq.

إشتق بارنس (عام 1940) معادلة منحنى الإنحسار:

$$Q_t = Q_o K_r^t \dots\dots (1)$$

Q_t : التصريف في الزمن t

Q_o : التصريف الأولي

K_r : ثابت الإنحسار ($K_r < 1$)

المعادلة أعلاه يمكن كتابتها بصورة أسية:

$$Q_t = Q_o e^{-at} \dots\dots (2)$$

$$a = - \ln K_r$$

$$K_r = k_{rs} \cdot k_{ri} \cdot k_{rb}$$

$k_{rs} =$ ثابت إنحسار الجريان السطحي = 0.05 – 0.2 ، $k_{ri} =$ ثابت إنحسار الجريان البيئي = 1

$k_{rb} =$ ثابت إنحسار الجريان القاعدي = 0.99

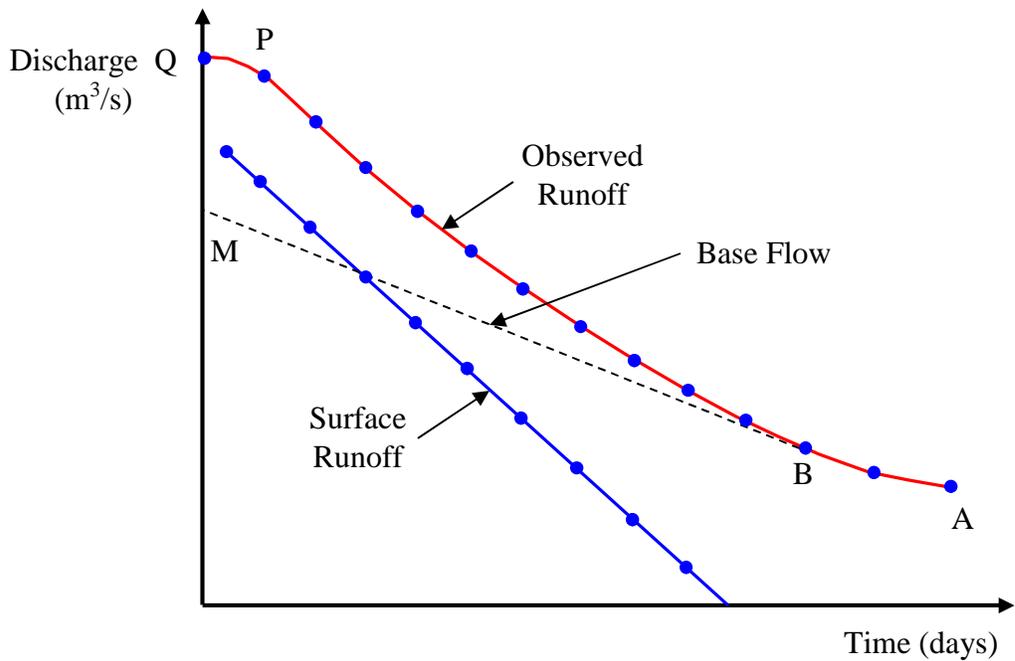
(1) / الأرقام أدناه تمثل جزء الإنحسار من هيدروغراف الفيضان ، المطلوب حساب معامل إنحسار الجريان القاعدي و الجريان السطحي ، علماً بأن الوقت هو من النقطة التي وصل فيها الهيدروغراف الذروة . أفرض أن مركبة الجريان البيئي ملغية.

التصريف (m ³ /s)	(day)	التصريف (m ³ /s)	(day)
3.8	4	90	0
3	4.5	66	0.5
2.6	5	34	1
2.2	5.5	20	1.5
1.8	6	13	2
1.6	6.5	9	2.5
1.5	7	6.7	3
		5	3.5

يتم تعيين هذه المعلومات على مقياس نصف لوغاريتمي يكون فيها التصريف على مقياس اللوغاريتم كما في الشكل. جزء المنحني AB والذي رسم على خط مستقيم يمثل الجريان القاعدي . الجريان السطحي إنتهى في النقطة B بعد 5 أيام من الذروة.

من معادلة (1) :

$$Q_t / Q_o = K_{rb}^t \implies \log K_{rb} = \frac{1}{t} \log (Q_t / Q_o)$$



من الشكل ، لو أخذنا :

$$Q_o = 6.6 \text{ m}^3/\text{s} \quad , \quad t = 2 \text{ days} \quad , \quad Q_t = 4 \text{ m}^3/\text{s}.$$

$$\log K_{rb} = \frac{1}{2} \log (4 / 6.6) \implies K_{rb} = 0.78$$

$$Q_o = 26 \text{ m}^3/\text{s} \quad , \quad t = 2 \text{ days} \quad , \quad Q_t = 2.25 \text{ m}^3/\text{s}.$$

$$\log K_{rs} = \frac{1}{2} \log (2.25 / 26) \implies K_{rs} = 0.29$$

$$K_r = 0.29 * 0.78 * 1 = 0.226$$

4.5. فصل الجريان القاعدي Base Flow Separation:

في دراسة وتحليل الهيدروغراف ، نجد أن العلاقة بين هيدروغراف الجريان السطحي و المطر المؤثر (أي المطر مطروحاً منه الضائعات) تظهر على نحو واضح وإن هيدروغراف الجريان السطحي نحصل عليه من الهيدروغراف الكلي وذلك بفصل الجريان السريع عن الجريان البطيء. ومن المعتاد أن نعتبر الجريان البيئي جزءاً من الجريان السطحي أي أنه واقع ضمن الجريان السريع، ولهذا فإنه يتم طرح الجريان القاعدي من الهيدروغراف الكلي للعاصفة لكي نحصل على هيدروغراف الجريان السطحي، وهناك ثلاث طرق تستعمل لفصل الجريان القاعدي :

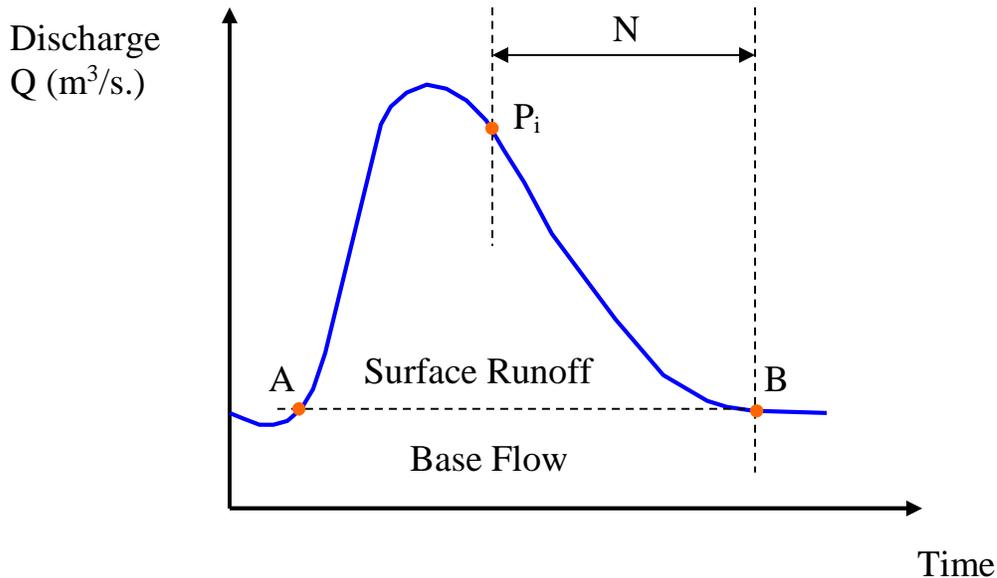
الطريقة الأولى : طريقة الخط المستقيم:

يتم فصل الجريان القاعدي وذلك بوصل بداية السطح السطحي بخط مستقيم على الطرف الهابط والتي تمثل نهاية السطح المباشر، وكما في الشكل فإن نقطة A تمثل بداية السطح المباشر وهي عادةً يمكن تحديدها بسهولة حيث أنها تمثل التغير الحاد في معدل السطح في تلك النقطة. أما النقطة B فتمثل نهاية السطح المباشر وهي صعبة التعيين بالضبط وهناك معادلة تجريبية لتحديد الفترة الزمنية N (باليوم) من نقطة الانقلاب P_i إلى النقطة B وهي:

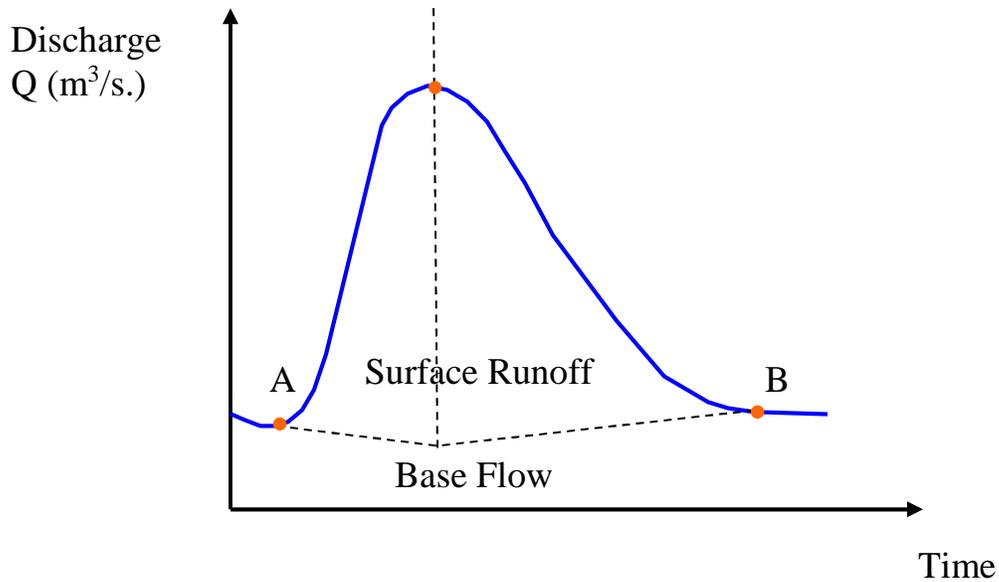
$$N = 0.83 A^{0.2}$$

A : المساحة الميزولة (كم²)

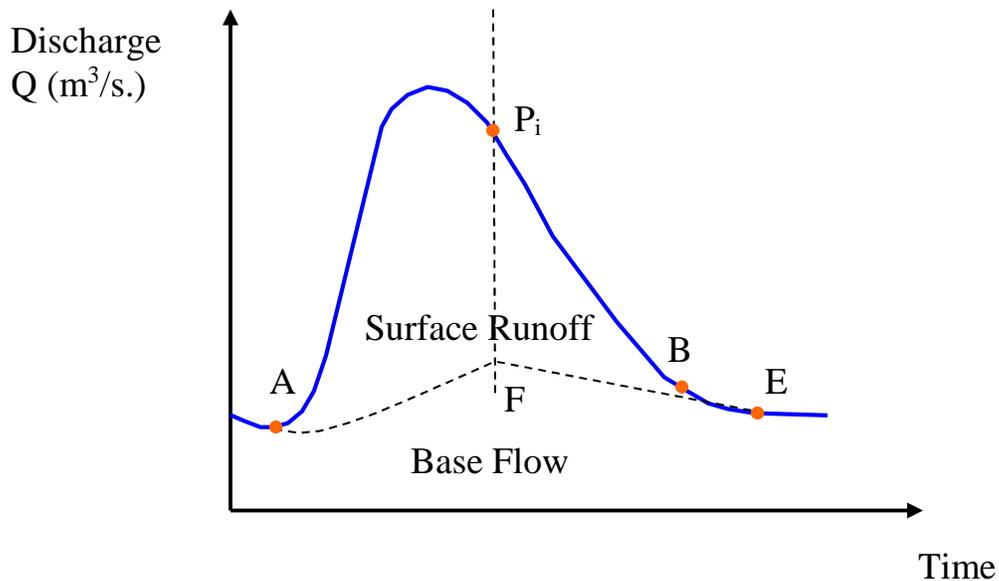
حيث توصل النقطتان A و B بخط مستقيم لفصل الجريان القاعدي عن السطح السطحي



الطريقة الثانية : في هذه الطريقة فإن منحنى الجريان القاعدي السابق لبدء السيلح السطحي يتم تمديده حتى يتقاطع مع الإحداثي المرسوم من نقطة الذروة (النقطة C) وهذه النقطة يتم ربطها مع النقطة B بخط مستقيم والقطع AC و BC تعين الجريان القاعدي و السيلح السطحي.

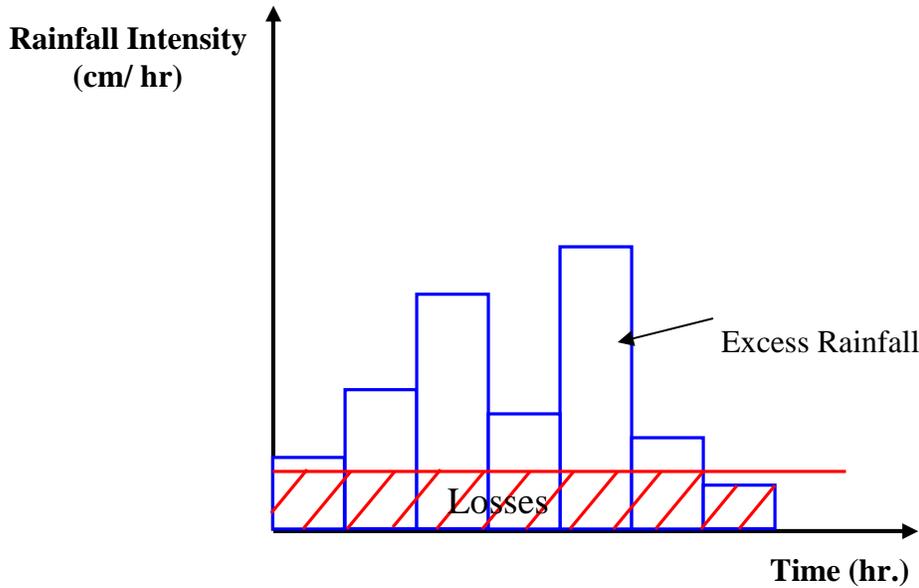


الطريقة الثالثة : في هذه الطريقة فإن منحنى الإنحسار العائد للجريان الأرضي يتم تمديده إلى الخلف حتى يتقاطع مع الخط النازل من نقطة الانقلاب P_i (الخط EF) والنقطتان A و F يتم وصلهما بمنحنى يتم رسمه على نحو تقريبي.



5.5. المطر المؤثر Effective Rain:

لأغراض ربط هيدروغراف السيلج المباشر مع المطر الساقط والذي ينتج الجريان فإن هيدروغراف المطر الساقط يتم تعديله بطرح الضائعات منه ، والشكل أدناه يبين لنا هيدروغراف عاصفة مطرية حيث أن الضائعات البدائية و ضائعات النفاذية يتم طرحها منه ولهذا فإن الهيدروغراف الناتج يعرف بهيدروغراف المطر المؤثر (ERH).

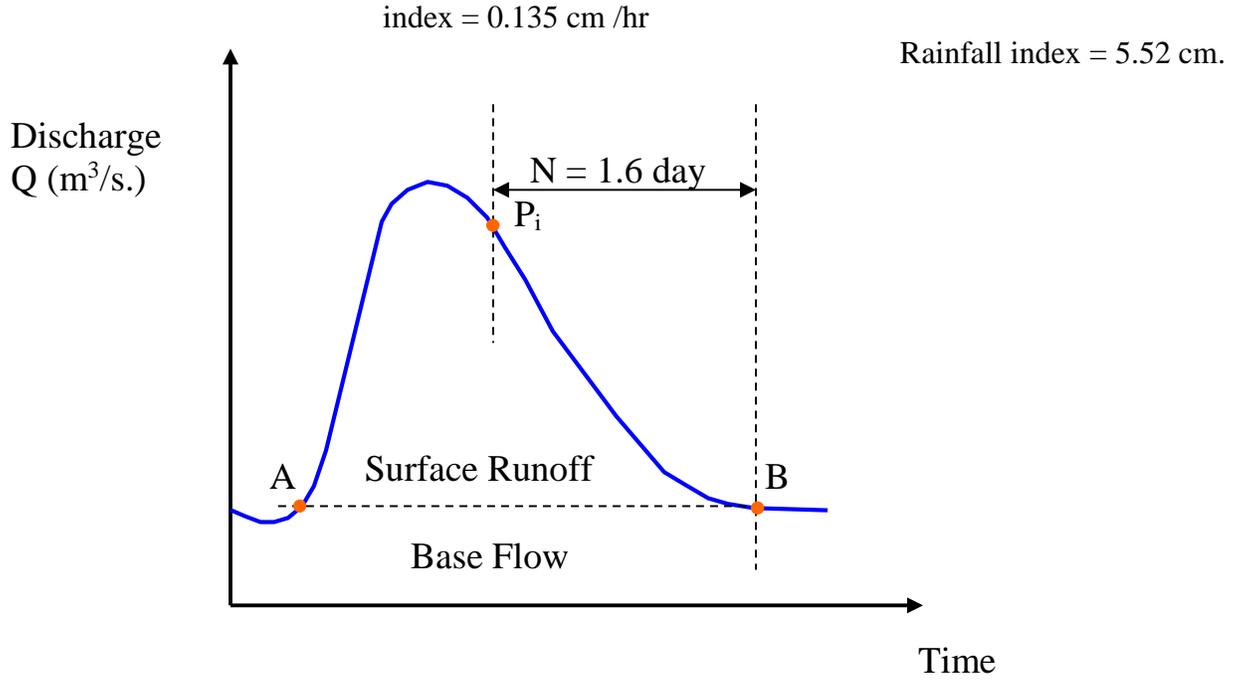


ملاحظة / إن كلا الهيدروغرافين (ERH و DRH) يمثلان نفس الكمية الكلية ولكن بوحدة مختلفة ، حيث تكون وحدات الـ (ERH) بالـ (cm/hr) وعندما ترسم ضد الوقت فإن مساحة المنحني الناتج عند ضربه بمساحة الجابية فإن الناتج يمثل الحجم الكلي للسيلج المباشر والتي هي في الوقت نفسه تمثل مساحة الـ (DRH).

(2) / الأمطار التي قيمتها 3.8 سم حدثت خلال إستدامة متعاقبة فترتها 4 ساعة و على مساحة مقدارها 27² وأنتجت الهيدروغراف التالي للجريان في نقطة تصريف الجابية ، ضمن الزيادة المطرية و قيمة المؤشر

66	60	54	48	42	36	30	24	18	12	6	0	-6	الوقت من بداية سقوط المطر (hr)
4.5	4.5	5	5	7	9	12	16	21	26	13	5	6	الجريان الملاحظ (m ³ /s)

/ باستخدام طريقة الخط المستقيم لفصل الجريان القاعدي



$$N = 0.83 (27)^{0.2} = 1.6 \text{ day} = 38 \text{ hr.}$$

نقطة الانقلاب عندما $(t = 0)$ وبداية الـ (DRH) عندما $(t = 0)$ كما إنه ينتهي عندما $(t = 48)$ أي أن الزمن الكلي لـ N :

$$\text{Time of } N = 48 - 16 = 32 \text{ hr.}$$

وهي قيمة ملائمة أكثر من $(N = 38)$ ، إذن وقت الـ DRH الكلي من $t = 0$ و لغاية $t = 48$ من خلال الرسم، طريقة الخط المستقيم تعطينا قيمة ثابتة للجريان القاعدي مقدارها $5 \text{ م}^3/\text{ثا}$

$$\text{DRH الـ حجم} = 6 \cdot 60 \cdot 60 [0.5 \cdot 8 + 0.5(8+21) + 0.5(21+16) + 0.5(16+11) + 0.5(11+7) + 0.5(7+4) + 0.5(4+2) + 0.5(2)] \\ = 1.4904 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

$$\text{Depth of Runoff} = \text{Runoff vol.} / \text{Area} = 1.4904 \cdot 10^6 / 27 \cdot 10^6 = 5.52 \text{ cm. (المطر الفائض)}$$

$$\text{Total Rainfall} = 2.8 + 3.8 = 6.6 \text{ cm.}$$

$$\text{Time of Duration} = 8 \text{ hr.}$$

$$\text{index} = (6.6 - 5.52) / 8 = 0.135 \text{ cm/hr.}$$

6.5. الهيدروغراف القياسي Unit Hydrograph

هو هيدروغراف السيج المباشر والنتاج عن وحد عمق (1) سم للمطر الزائد والتي تحدث بشكل منتظم وإستدامة معروفة مقدارها (D - ساعة) فوق الجابية. وإن تعريف الهيدروغراف القياسي يتضمن ما يأتي:

1. إن الهيدروغراف القياسي يمثل رد فعل الجابية الطبيعي لكمية الأمطار الزائدة ذات الإستدامة D - ساعة لإنتاج هيدروغراف السيج المباشر. وبما أن عمق 1 سم من الأمطار الزائدة يمكن إعتبره، فإن المساحة تحت الهيدروغراف القياسي ستكون مساوية إلى الحجم الذي ينتجه 1 سم فوق الجابية.
 2. إن الزيادة بالأمطار يفترض بأن لها معدل للشدة قيمته $\frac{1}{D}$ سم / ساعة بالنسبة لإستدامة العاصفة.
 3. توزيع العاصفة يمكن إعتبره منتظماً فوق الجابية.
- و بصورة عامة، فإن إشتقاق ال DRH من ال UH يتم على أساس ضرب إحدائيات الأخير بالمطر المؤثر:

$$DRH = UH * ER \text{ إحدائيات}$$

7.5.فرضيات الهيدروغراف القياسي Unit Hydrograph Assumptions

1. إن السيج المباشر في الجابية لعاصفة مطرية مؤثرة يكون الوقت فيها ثابتاً.
2. إن العلاقة بين السيج المباشر و الأمطار الزائدة هي علاقة خطية ، حيث تزداد المساحة الناتجة من هيدروغراف السيج المباشر وذلك بضرب إحدائيات ال UH بوحدات العمق المؤثر.

(3) / المعلومات التالية هي إحدائيات 6 - ساعة هيدروغراف قياسي لجابية ، إ حسب الإحدائيات الرأسية

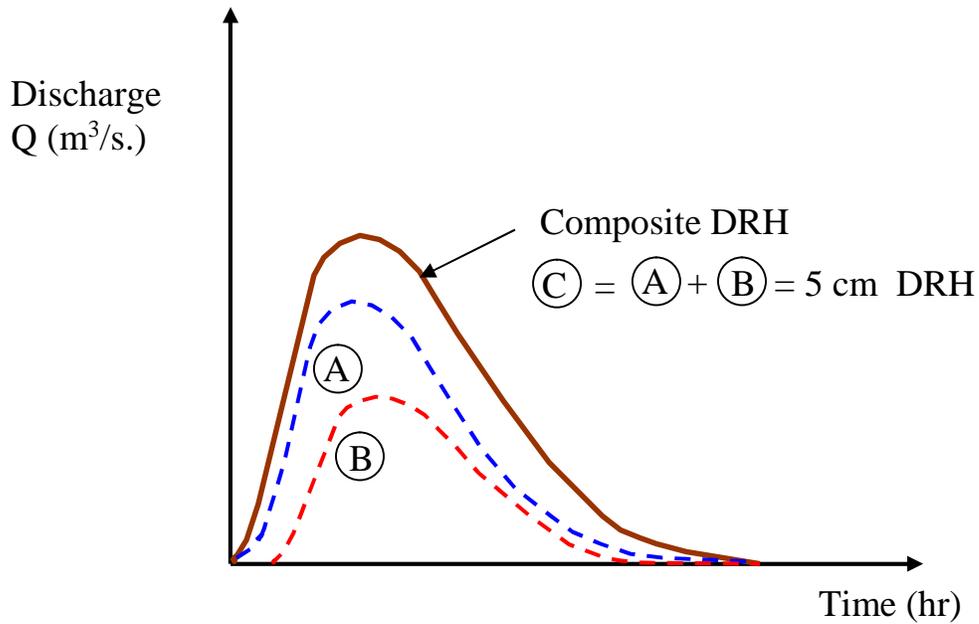
لهيدروغراف السيج المباشر بسبب الزيادة المطرية 3.5

الوقت (hr.)	0	3	6	9	12	15	18	24	30	36	42	48	54	60	66
إحدائيات UH (m3/s)	0	25	50	85	125	160	185	160	110	60	36	25	16	8	0

الوقت (hr.)	0	3	6	9	12	15	18	24	30	36	42	48	54	60	66
إحدائيات UH (m3/s)	0	25	50	85	125	160	185	160	110	60	36	25	16	8	0
إحدائيات DRH (m3/s)	0	87.5	175	297.5	437.5	560	647.5	560	385	210	126	87.5	56	28	0

- (4) / عاصفتان مطريتان مدة كل منهما 6 ساعة ولهما زيادة في الأمطار قيمتهما 3 2 حدثت الواحدة بعد الأخرى ، والمطرة التي قيمتها 2 3 سم . الهيدروغراف القياسي للجابية و الذي مدته 6 ساعة هو معطى في المثال السابق . إ حسب ال DRH .

إحداثيات DRH – 5 cm (m3/s)	إحداثيات DRH – 2 cm (m3/s)	إحداثيات DRH – 3 cm (m3/s)	إحداثيات UH (m3/s)	الوقت (ساعة)
0	0	0	0	0
75	0	75	25	3
150	0	150	50	6
305	50	255	85	9
475	100	375	125	12
650	170	480	160	15
805	250	555	185	18
(837.5)	(320)	(517.5)	(172.5)	(21)
850	370	480	160	24
550	320	330	110	30
400	220	180	60	36
228	120	108	36	42
147	72	75	25	48
98	50	48	16	54
56	32	24	8	60
(24.1)	(16)	(8.1)	(2.7)	(66)
(10.6)	(10.6)	0	0	69
0	0	0	0	75



(5) / معدل العاصفة المطرية فوق جابج
 7.5 5.5 سم. معدل الضياع للعاصفة المطرية (المؤشر Φ) الساقطة على جانبية تم تخمينه بـ 0.25 سم / ساعة .
 6 ساعة للإحداثيات الرأسية لمخطط الماء القياسي للمثال السابق ، ضمن هيدروغراف السيج المباشر . إذا
 تم افتراض أن قيمة الجريان القاعدي هي 15 م³/ثا في البداية وتزداد 2 م³/ثا كل 12 ساعة حتى نهاية هيدروغراف
 السيج المباشر. ضمن هيدروغراف الفيضان الناتج.

/ إن هيتوغراف الفيضان المؤثر تم حسابه كما في الجدول الآتي :

الفترة	أول 6 ساعة	ثاني 6 ساعة	ثالث 6 ساعة
عمق المطر (سم)	3.5	7.5	5.5
معدل الضائعات لـ 6 ساعة (سم)	1.5	1.5	1.5
المطر المؤثر (سم)	2	6	4

الوقت	إحداثيات UH	العمود 2 * 2	العمود 2 * 6 يتقدم 6 ساعة	العمود 2 * 4 يتقدم 12 ساعة	الإحداثي النهائي DRH (5+4+3)	الجريان القاعدي	هيدروغراف الفيضان (7+6)
1	2	3	4	5	6	7	8
0	0	0	0	0	0	15	15
3	25	50	0	0	50	15	65
6	50	100	0	0	100	15	115
9	85	170	150	0	320	15	335
12	125	250	300	0	550	17	567
15	160	320	510	100	930	17	947
18	185	370	750	200	1320	17	1337
(21)	(172.5)	(345)	(960)	(340)	(1645)	(17)	(1662)
24	160	320	1110	500	1930	19	1949
(27)	(135)	(270)	(1035)	(640)	(1945)	(19)	(1964)
30	110	220	960	740	1920	19	1939
36	60	120	660	640	1420	21	1441
42	36	72	360	440	872	21	893
48	25	50	216	240	506	23	529
54	16	32	150	144	326	23	349
60	8	16	96	100	212	25	237
66	(2.7)	(5.4)	(48)	(64)	(117)	(25)	(142)
69	-	-	-	-	-	-	-
72	0	0	16	32	48	27	75
75	-	-	-	-	-	-	-
78	0	0	0	(10.8)	(11)	27	38
81	0	0	0	0	0	27	27
84	0	0	0	0	0	27	27

8.5. اشتقاق الهيدروغراف القياسي :Unit Hydrograph Derivation

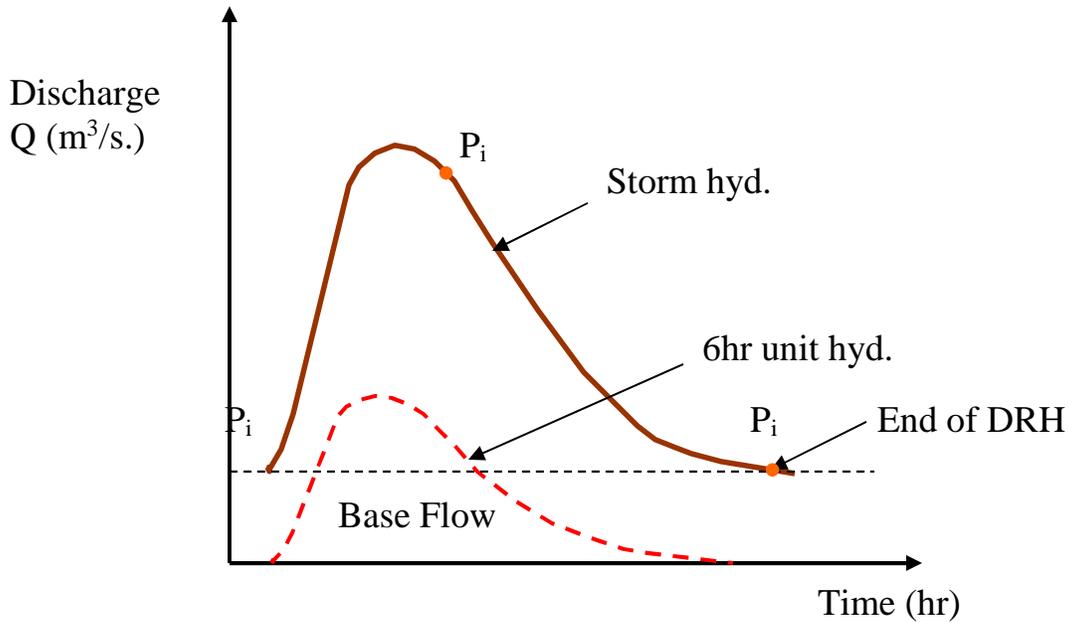
هي عملية إيجاد إحداثيات الهيدروغراف القياسي وذلك بقسمة إحداثيات الـ DRH على قيمة المطر المؤثر والنتاج من إيجاد المساحة تحت منحني DRH وقسمته على مساحة الجابية.

إن فرضيات هيدروغراف الفيضان المستعمل في التحليل يمكن إختياره لكي يواجه النقاط المرغوبة الآتية:

1. الأمطار يجب أن تكون منتظمة خلال مدة إستدامتها ويجب أن تغطي مساحة الجابية.
2. العاصفة المطرية يجب أن تكون معزولة وتحدث بصورة فردية.
3. الأمطار الزائدة للعاصفة المطرية المختارة تكون عالية كما إن مدى قيمها يتراوح من 1 - 4 سم.

ثال (6) / المعلومات الآتية هي الإحداثيات الرأسية لهيدروغراف عاصفة مطرية لنهر يبزل مساحة مقدارها 432 كم² نتيجة 6 ساعة عاصفة مطرية منفصلة . اشتق الإحداثيات الرأسية لهيدروغراف قياسي قدره 6

48	42	36	30	24	18	12	6	0	-6	الوقت من بداية العاصفة المطرية (hr)
47.5	59	71	85	102.5	115.5	87.5	30	10	10	التصريف (m ³ /s)
	102	96	90	84	78	72	66	60	54	الوقت من بداية العاصفة المطرية (hr)
	12	12	12.5	15	17.5	21.5	26	31.5	39	التصريف (m ³ /s)



$$A = \text{بداية DRH عندما } t = 0 \text{ و } B = \text{نهاية DRH عندما } t = 90 \text{ ساعة}$$

$$P_i = \text{نقطة الانقلاب عندما } t = 24 \text{ ساعة} \leftarrow N = 24 - 90 = 66 = \text{ساعة } 2.75 \text{ يوم}$$

$$N = 0.83 * (423)^{0.2} = 2.78 \text{ يوم (2.75 يوم أفضل)}$$

الإحداثيات الرأسية لـ 6 ساعة مخطط ماء قياسي (m ³ /s) العمود 3 ÷ 4	الإحداثيات الرأسية لـ DRH (m ³ /s)	الجريان القاعدي (m ³ /s)	الإحداثيات الرأسية لهيدروغراف العاصفة (m ³ /s)	الوقت من بداية الزخة المطرية (hr)
5	4	3	2	1
0	0	10	10	-6
0	0	10	10	0
6.7	20	10	30	6
25.7	77	10.5	87.5	12
33.7	101	10.5	111.5	18
30.7	92	10.5	102.5	24
24.7	74	11	85	30
20	60	11	71	36
16	48	11	59	42
12	36	11.5	47.5	48
9.2	27.5	11.5	39	54
6.6	20	11.5	31.5	60
4.6	14	12	26	66
3.2	9.5	12	21.5	72
1.8	5.5	12	17.5	78
0.8	2.5	12.5	15	84
0	0	12.5	12.5	90
0	0	12	12	96
0	0	12	12	102

587 m³/s

عمق السيح = $(10^6 * 423) / (3600 * 6 * 587) = 3$ سم

(7) / خمن ذروة هيدروغراف 3 ساعة قياسي ، إذا علمت أن ذروة هيدروغراف الفيضان الناتجة بسبب 3 ساعة مطر مؤثر هي 270 م³/ثا وإن معدل عمق المطر يساوي 5.9 سم ، أفرض أن معدل ضائعات النفاذية يساوي 0.3 سم / ساعة وإن الجريان القاعدي قيمته ثابتة و يساوي 20 م³ /

قيمة المطر المؤثر = $0.3 * 3 - 5.9 = 5$ سم

ذروة الـ DRH = $270 - 20 = 250$ م³/ثا

ذروة الـ UH - 3 ساعة = $5 / 250 = 50$ م³ / ثا

9.5. الهيدروغراف القياسي لإستدامات مختلفة Unit Hydrograph for Different Duration

هنالك عدة طرق لإشتقاق مخطط الماء القياسي الذي إستدامته nD - ساعة من مخطط ماء قياسي إستدامته D -

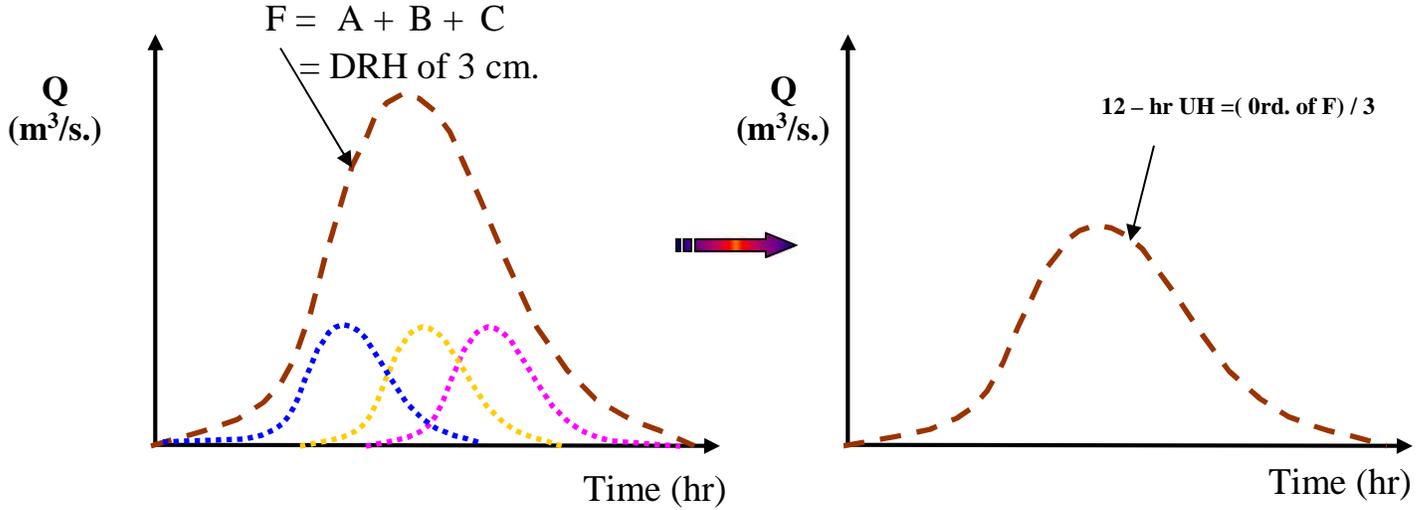
ساعة ، ومن أهم هذه الطرق :

2. طريقة منحني S

1. طريقة الإنطباق

1. طريقة الإنطباق Super Position Method :

إذا توافر الهيدروغراف القياسي الذي إستدامته D - ساعة وكان المطلوب هو إشتقاق مخطط الماء القياسي لـ nD - ساعة حيث n عدد صحيح ، فإنه من السهولة إنطباق n من المخططات القياسية مع كل رسم مفصول عن السابق بـ D - ساعة :



مثال (8) / المعلومات المعطاة هي الإحداثيات الصادية لهيدروغراف قياسي إستدامته 4 - ساعة ، إشتق 12 - ساعة مخطط ماء قياسي.

إحداثيات UH - 12 ساعة (العمود 5 ÷ 3)	الأعمدة 4+3+2	C يزحف بـ 8 ساعة	B يزحف بـ 4 ساعة	A	الوقت (ساعة)
6	5	4	3	2	1
0	0	-	-	0	0
6.7	20	-	0	20	4
33.3	100	0	20	80	8
76.7	230	20	80	130	12
120	360	80	130	150	16
136.7	410	130	150	130	20
123.3	370	150	130	90	24
90.7	272	130	90	52	28
56.3	169	90	52	27	32
31.3	94	52	27	15	36
15.7	47	27	15	5	40
6.7	20	15	5	0	44
1.7	5	5	0	-	48
0	0	0	-	-	52

2. طريقة منحنى S - Curve Method :

يتم استخدام هذه الطريقة إذا كان المطلوب اشتقاق هيدروغراف قياسي إستدامته mD حيث m كسر ، والمنحنى S (هيدروغراف S) هو هيدروغراف ينتج من أمطار مؤثرة و مستمرة بمعدل ثابت في زمن غير محدد.

(9) / حل المثال السابق بطريقة المنحنى S .

العمود 6 ÷ (4/12)	عمود 4 - عمود 5	منحنى S متخلف بـ 12 ساعة	إحداثيات منحنى S (3+2)	منحنى S	إحداثيات UH-4 hr	الوقت (ساعة)
7	6	5	4	3	2	1
0	0	-	0	0	0	0
6.7	20	-	20	0	20	4
33.3	100	-	100	20	80	8
76.7	230	0	230	100	130	12
120	360	20	380	230	150	16
136.7	410	100	510	380	130	20
123.3	370	230	600	510	90	24
90.7	272	380	652	600	52	28
56.3	169	510	679	652	27	32
31.3	94	600	694	679	15	36
15.7	47	652	699	694	5	40
6.7	20	679	699	699	0	44
1.7	5	694	699	699	-	48
0	0	699	699	-	-	52

مثال (10) / الإحداثيات الرأسية للهيدروغراف القياسي 4 - ساعة مبينة أدناه . إستعمل هذه الإحداثيات و اشتق إحداثيات مخطط هيدروغراف إستدامته 2 - ساعة لنفس الجابية .

/

العمود 6 ÷ (4/2) (UH - 2hr)	عمود 4 - عمود 5	منحني S متخلف بـ 2 ساعة	إحداثيات منحني S (3+2)	منحني S	إحداثيات UH-4 hr	الوقت (ساعة)
7	6	5	4	3	2	1
0	0	-	0	-	0	0
16	8	0	8	-	8	2
24	12	8	20	0	20	4
62	31	20	51	8	43	6
98	49	51	100	20	80	8
122	61	100	161	51	110	10
138	69	161	230	100	130	12
154	77	230	307	161	146	14
146	73	307	380	230	150	16
138	69	380	449	307	142	18
122	61	449	510	380	130	20
102	51	510	561	449	112	22
78	39	561	600	510	90	24
62	31	600	631	561	70	26
42	21	631	652	600	52	28
34	17	652	669	631	38	30
20	10	669	679	652	27	32
20	10	679	689	669	20	34
10	5	689	694	679	15	36
10	5	694	699	689	10	38
(0) 3	0	699	699	694	5	40
(4) 0	(2)	699	701	699	2	42
(-4) 0	(-2)	701	699	699	0	44

10.5. إستعمالات و محددات الهيدروغراف القياسي:

أ. الإستعمالات:

1. في تطوير هيدروغراف الفيضان و معرفة قيمة المطر القصوى المستخدمة في تصاميم منشآت التصريف.
 2. في إستكمال سجلات الجريان بالإعتماد على سجلات المطر.
 3. لأغراض التنبؤ بالفيضان وفي إطلاق التحذيرات إعتياداً على الأمطار الساقطة.
- يفترض مخطط الهيدروغراف القياسي بأن الأمطار الساقطة على جابية لها توزيع منتظم ، كذلك الشدة المطرية، فإنها يفترض أن تكون ثابتة خلال إستدامة المطر الزائد، ومن الناحية العملية فإن هذين الطرفين لا يطبقان بدقة ، حيث أنه من المعتاد أن تكون الأمطار غير منتظمة على المساحة ، و كذلك فإن الشدة مختلفة خلال فترة سقوط العاصفة المطرية وتحت مثل هذه الظروف فإن الهيدروغراف القياسي لا يزال يستعمل فيما إذا كان هناك توزيع مساحي متجانس للعواصف المختلفة.

على أية حال، فإن حجم المساحة يعد العامل المؤثر الأعلى على تطبيق الهيدروغراف القياسي، حيث يمكن القول أن المساحة 5000 كم² تعد الحد الأعلى لمساحة الجابية المستعملة في تطبيقات الهيدروغراف القياسي.

ب. المحددات:

1. إن السقيط يجب أن يكون مطراً فقط وذوبان الثلوج لا يمكن تمثيلها في الهيدروغراف القياسي.
 2. الجابية يجب أن لا تحتوي على خزن كبير مثل الأحواض أو الصهاريج وكذلك الخزن في الضفاف الفيضانية والتي تؤثر على العلاقة الخطية بين الخزن و التصريف.
 3. إذا كان السقيط غير منتظم فإن نتائج الهيدروغراف القياسي تكون غير جيدة.
- و بصورة عامة، في إستعمالات الهيدروغراف لا يمكن توقع نتائج دقيقة جداً حيث أن الإختلافات في قاعدة الهيدروغراف تكون بحدود $\pm 20\%$ وفي ذروة التصريف تكون بحدود $\pm 10\%$ و تعتبر هذه النتائج مقبولة.

(11) / ية مساحتها 200 هكتار سقطت عليها أمطار في ثلاثة أيام متعاقبة و كانت أعماق المطر هي 7.5 و 2 و 5 سم على التوالي أفرض معدل المؤشر Φ 2.5 سم / يوم ، رسم التوزيع كنسبة مئوية من السيح السطحي والذي يمتد أكثر من 6 يوم لكل عاصفة مطرية والتي إستدامتها يوم واحد هي 5 15 40 25 10 5 . حدد إحداثيات تصريف الهيدروغراف بعد إهمال تصريف الجريان القاعدي.

السيح		توزيع السيح للمطر الزائد (cm)			نسبة معدل	ER	الأمطار	الوقت	
m ³ / s	cm	2.5	0	5	التوزيع %	(cm)	(cm/day)	(cm)	(day)
5.79	0.25			0.25	5	5	2.5	7.5	1- 0
17.36	0.75		0	0.75	15	0	2.5	2	2- 1
49.19	2.125	0.125	0	2	40	2.5	2.5	5	3- 2
37.62	1.625	0.375	0	1.25	25				4- 3
34.72	1.5	1	0	0.5	10				5- 4
20.25	0.875	0.625	0	0.25	5				6- 5
5.79	0.25	0.25	0	0	0				7- 6
2.89	0.125	0.125							8- 7
0	0	0							9- 8

السيح في يوم واحد * (200*10⁴ / 86400) = السيح في يوم واحد * 23.148 / 3

الفيضانات (Floods)

1.7. الفيضان Flood : عبارة عن إرتفاع منسوب النهر بصورة غير عادية بحيث يطفح النهر على ضفتيه ويغرق المنطقة المجاورة. إن مخطط ماء الفيضان (الهيدروغراف) للفيضانات العالية و بيانات مناسيب المياه المقابلة لذروات الفيضان توفر معلومات و بيانات مهمة تساعد في التصميم الهيدرولوجي فضلاً عن ذلك فإن من بين الخصائص المختلفة لهيدروغراف الفيضان، أن معيار ذروة الفيضان يعد من أهم المعايير المستخدمة وأوسعها إنتشاراً، ففي موقع معين تتغير ذروات الفيضان بين سنةٍ وأخرى و تشكل مقاديرها السلسلة الهيدرولوجية والتي من خلالها يمكن تحديد التردد لذروة الفيضان وعملياً يمكن القول أنه عند تصميم جميع المنشآت الهيدروليكية فإن تصريف الذروة لتردد (مرة واحدة لكل 100 سنة مثلاً) يعد ذا أهمية لإنشاء هذه المنشآت و تحقيق الأغراض المنشودة منها ، ولغرض حساب مقدار ذروة الفيضان تتوفر الطرق الآتية :

1. الطريقة العقلانية Rational Method

2. الطريقة الوضعية (التجريبية) Empirical Method

3. طريقة الهيدروغراف Hydrograph Method

4. دراسات تردد الفيضان Flood – Frequency Studies

وتعتمد دراسة طريقة ما على عدة عوامل منها :

ج. أهمية المنشأ

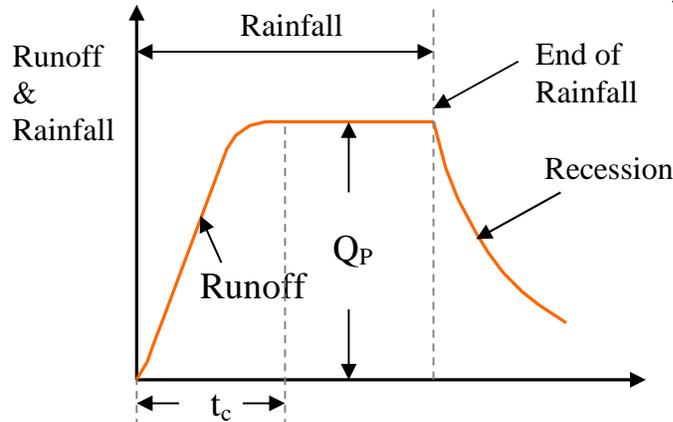
ب. البيانات المتوفرة

أ. الغرض المنشود

1. الطريقة العقلانية Rational Method :

بافتراض سقوط المطر بشدة منتظمة ولفترة إستدامة طويلة جداً على حوض ماء ، فإن معدل السيح يزداد تدريجياً من

الصفر إلى قيمة ثابتة وكما موضح في الشكل:



حيث يزداد السيخ بإستمرار وصول التصريف من المناطق البعيدة من الجابية إلى المخرج (Outlet) ، فإذا رمزنا إلى الفترة التي تصل فيها قطرة الماء من أبعد جزء من الجابية إلى مخرجها بالرمز (t_c) (زمن التركيز) فإن من الواضح إنه إذا استمر سقوط المطر إلى ما بعد (t_c) فإن السيخ سيصبح ثابتاً عند قيمة الذروة (Q_p) :

$$Q_p = C A i \quad t \quad t_c$$

$C = \text{Runoff} / \text{Rainfall}$ ، A : مساحة الجابية ، i : شدة المطر

وعند إستخدام الوحدات الحقلية يمكن كتابة المعادلة أعلاه كما يأتي:

$$Q_p = \frac{1}{3.6} C (i_{tcp}) A$$

Q_p : (م³/س) تصريف الذروة ، C : معامل السيخ ، i_{tcp} : P وإحتمالية t_c لإستدامة (ملم / ساعة) متوسط شدة المطر (ملم / ساعة) لإستدامة t_c وإحتمالية P ،
 A : مساحة التصريف (كم²)

وقت التركيز (t_c) Time of Concentration

هناك عدة معادلات تجريبية لتخمين وقت التركيز ومن أهم هذه الطرق :

أ. الطريقة الأمريكية U.S.A. Practice: في حالة كون أحواض التصريف لجابية صغيرة فإن زمن التركيز يساوي تقريباً فترة تصريف الذروة :

$$t_c = t_p = C_{tL} \left(\frac{L L_{ca}}{\sqrt{s}} \right)^n$$

ميل الجابية الموزون s : ، $n = 0.38$ ، زمن التركيز (ساعة) t_c :

$C_{tL} = \text{constant}$

= 0.83 للمناطق الجبلية

= 0.5 للتلال

= 0.24 للوديان

طول الجابية وتقاس على طول المجرى المائي من خط تقسيم الجابية (كم) L :

المسافة على طول المجرى المائي من محطة القياس إلى نقطة على المجرى المائي في مركز الجابية (كم) L_{ca} :

$$t_c = 0.01947 L^{0.77} S^{-0.385}$$

t_c : فترة التركيز (min)

L : أقصى مسافة يقطعها الماء (m)

$S = H / L$: إنحدار الجابية

H : فرق المنسوب من أبعد نقطة في الجابية إلى المخرج

شدة المطر Rainfall Intensity :

إن شدة المطر المكافئة لإستدامة معينة تساوي t_c وبإحتمالية تجاوز P (أي فترة رجوع $T = 1 / P$) يمكن إيجادها بواسطة العلاقة بين تردد المطر و الإستدامة للجابية :

$$i_{tcp} = \frac{KT^x}{(t_c + a)^m} \quad \text{ثوابت } K, a, x, m$$

(1) / منطقة سكنية معامل السيج لها 0.3 و مساحتها 0.85² ، فإذا علمت إن إنحدار الجابية 0.006 وأقصى مسافة يقطعها الماء تساوي 950

25 سنة هي كما في

60	40	30	20	10	5	الإستدامة (min)
62	57	50	40	26	17	معدل سقوط المطر (mm)

إحسب معدل تصريف الذروة (Q_p) لتصميم منشأ عند منفذ هذه المنطقة لفترة رجوع 25

$$t_c = 0.01947 * (950)^{0.77} * (0.006)^{-0.385} = 27.4 \text{ min.}$$

أقصى عمق للمطر لإستدامة 27.4 دقيقة (ملم) :

$$\frac{50-10}{10} * 7.4 + 40 = 47.4 \text{ mm}$$

متوسط الشدة i_{tcp} (ملم / ساعة) :

$$i_{tcp} = \frac{47.4}{27.4} * 60 = 103.8 \text{ mm/hr.}$$

$$Q_p = \frac{0.3 * 103.8 * 0.85}{3.6} = 7.35 \text{ m}^3 / \text{s.}$$

2. الصيغ التجريبية (الوضعية) : Empirical Formulas :

تعد الصيغ الوضعية المستخدمة لحساب ذروة الفيضان صيغاً محلية تعتمد على الارتباط الإحصائي لخصائص الذروة و منطقة الجابية. ولغرض تسهيل شكل المعادلة تستخدم بعض المعايير التي تؤثر على ذروة الفيضان ، فعلى سبيل المثال تستخدم جميع الصيغ مساحة منطقة الجابية معياراً مهماً يؤثر على ذروة الفيضان وبنفس الوقت فإن معظم هذه الصيغ تهمل تكرار الفيضان بوصفه معياراً. من هذا المنطلق تطبق الصيغ الوضعية فقط في المناطق التي إشتقت فيها هذه الصيغ.

العلاقات بين ذروة الفيضان و المساحة :Flood Peak – Area Relationships

إن أسهل الصيغ الوضعية هي تلك التي تربط ذروة الفيضان الأقصى Q_P من منطقة الجابية التي مساحتها A بالعلاقة الآتية :

$$Q_P = f(A)$$

أ. صيغة ديكنز Dickens Formula :

$$Q_P = C_D A^{3/4}$$

Q_P : التصريف الأقصى للفيضان (m^3/s)

A : مساحة الجابية ($كم^2$)

C_D : ثابت ديكنز (6 – 30)

ب. صيغة رايف Ryves Formula :

$$Q_P = C_R A^{2/3}$$

Q_P : التصريف الأقصى للفيضان (m^3/s)

A : مساحة الجابية ($كم^2$)

C_R : ثابت رايف

= 6.8 للمناطق التي تبعد بحدود (80) كم عن الساحل

= 8.5 للمناطق التي تبعد بحدود (80 – 160) كم عن الساحل

= 10.2 لبعض المناطق قرب الجبال

ج . صيغة إنجليس Inglis Formula :

$$Q_P = \frac{124A}{\sqrt{A+10.4}}$$

التصريف الأقصى للفيضان (m^3/s) : Q_P

مساحة الجابية ($كم^2$) : A

د . صيغة فولر Fuller's Formula :

$$Q_{TP} = C_f A^{0.8} (1 + 0.8 \log T)$$

التصريف الأقصى خلال 24 ساعة بتردد T سنة (m^3/s) : Q_{TP}

ثابت فولر ($1.88 - 0.18$) : C_f

هـ . صيغة بيرد - ماكارن Bird - McWarn Formula :

$$Q_{MP} = \frac{3025A}{(278 + A)^{0.78}}$$

(2) / إ حسب التصريف الأقصى للفيضان باستخدام صيغة وضعية و لمساحة جابية مقدارها 40.5 ²

1. صيغة ديكنز ($C_D = 6$)

$$Q_P = 6 * (40.5)^{0.75} = 96.3 \text{ m}^3/s$$

2. صيغة ديكنز ($C_R = 6.8$)

$$Q_P = 6.8 (40.5)^{2/3} = 80.2 \text{ m}^3/s$$

3. صيغة إنجليس

$$Q_P = \frac{124 * 40.5}{\sqrt{40.5 + 10.4}} = 704 \text{ m}^3/s$$

4. صيغة بيرد - ماكارن :

$$Q_{MP} = \frac{3025 * 40.5}{(278 + 40.5)^{0.78}} = 1367 \text{ m}^3/s$$

3. الهيدروغراف القياسي (مخطط الماء) Unit Hydrograph :

يمكن استخدام تقنية الهيدروغراف القياسي للتنبؤ بذروة الهيدروغراف، إذا كانت خصائص المطر المسببة للفيضان وخصائص الإرتشاح إضافةً إلى الهيدروغراف القياسي متوفرة.

4. دراسات تردد الفيضان : Flood – Frequency Studies

بالإضافة للطرق السابقة لحساب التصاريح القصوى للفيضان هنالك دراسات تردد الفيضان والتي تعتمد على الطرق الإحصائية لتحليل التردد.

إن قيم الفيضان السنوي القصوى في منطقة الجابية لعدد من السنين المتوالية و التي تشكل سلسلة من البيانات الهيدرولوجية يطلق عليها مصطلح السلسلة السنوية، وهذه البيانات يتم ترتيبها تنازلياً ثم تحسب الإحتمالية لكل حالة تساوي أو تتجاوز من خلال صيغة تعيين المواقع Plotting Position وهي :

$$P = m / (N+1) \quad \text{and} \quad T = 1 / P$$

وبناءً على ما تقدم فإن إحتمال حصول الحالة (r) مرة في n من السنين المتوالية هي:

$$P_{r,n} = \frac{n!}{(n-r)!r!} P^r q^{(n-r)}$$

إن دوال التوزيع التكراري التي يمكن تطبيقها في الدراسات الهيدرولوجية يعبر عنها بالمعادلة الآتية التي يطلق عليها المعادلة العامة لتحليل التردد الهيدرولوجي:

$$X_T = \bar{X} + k$$

X_T : قيمة المتغير X لسلسلة هيدرولوجية عشوائية فترة تكرارها T

\bar{X} : المتوسط الحسابي للمتغيرات

: الإنحراف القياسي

k : معامل التردد ويعتمد على فترة التكرار T والتوزيع التكراري المفترض

ومن بين دوال التوزيع التكراري الشائعة الإستخدام ما يأتي :

1. توزيع كامبل للحدود القصوى.
2. توزيع بيرسون اللوغاريتمي من النوع الثالث.
3. التوزيع الطبيعي اللوغاريتمي.

2.7. معادلة كامبل الحقيقية :Real Gumbel's Equation

$$X_T = \bar{X} + k_{n-1}$$

قيم التصارييف القصوى لفترة تكرار T سنة : X_T

$$Y_T = - \left[\ln \cdot \ln \frac{T}{T-1} \right]$$

$$k = \frac{Y_T - \bar{Y}_n}{S_n}$$

ملاحظة /

تستخرج قيم \bar{Y}_n (قيمة المتوسط المختزل) من جدول 7 - 3 ص 317 وقيم S_n (قيم الإنحراف القياسي المختزل) من جدول 7 - 4 ص 318 اعتماداً على حجم العينة (N).

مثال (3) / كانت التصارييف القصوى المسجلة لأحد الأنهار في الفترة 1951 إلى 1977 كما هو موضح أدناه، تحقق من وجود مطابقة بين توزيع كامبل للحدود القصوى و بين هذه القيم ، كذلك إحسب تصريف الفيضان لفترة تكرار أمدها :

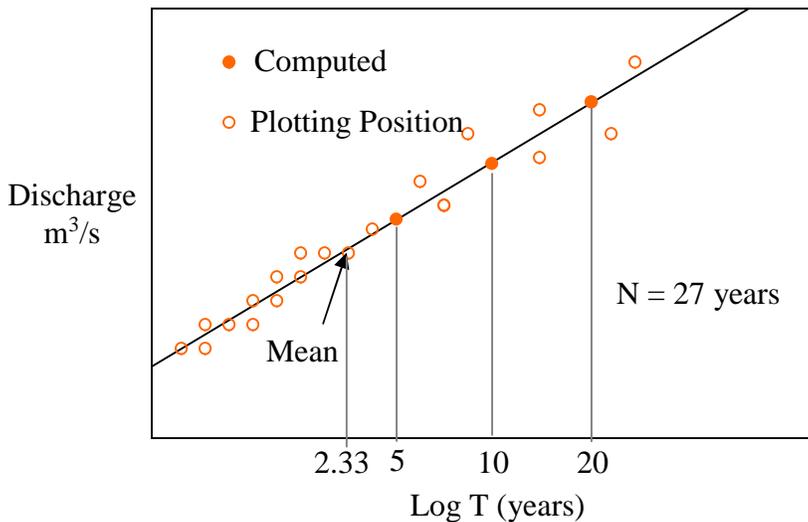
150 .2

100 .1

64	63	62	61	60	59	58	57	56	55	54	53	52	51	السنة
6900	5050	4652	4290	4798	3757	4903	5060	2947	3496	4124	2399	3521	2947	أقصى فيضان (m ³ /s)
	77	76	75	74	73	72	71	70	69	68	67	66	65	السنة
	1971	6761	4593	3873	2709	2988	4175	3700	6599	3320	7826	3380	4366	أقصى فيضان (m ³ /s)

$$T_P = (N+1)/m = 28 / m$$

/ ترتيب القيم تنازلياً



T (year)	تصريف الفيضان (x) (m ³ /s)	التسلسل
28	7820	1
14	6900	2
9.33	6761	3
7	6599	4
5.6	5060	5
4.67	5050	6
4	4903	7
3.5	4798	8
3.11	4652	9
2.8	4593	10
2.55	4366	11
2.33	4290	12
2.15	4175	13
2	4124	14
1.87	3873	15
1.75	3757	16
1.65	3700	17
1.56	3521	18
1.47	3496	19
1.4	3380	20
1.33	3320	21
1.27	2988	22
1.21	2947	23
1.17	2747	24
1.12	2709	25
1.08	2399	26
1.04	1971	27

$$T = 5 \text{ years} : \bar{X} = 4263 , \quad n-1 = 1432.6$$

$$Y_T = - [\ln \ln (5/4)] = 1.5$$

$$K = (1.5 - 0.5332)/1.1004 = 0.88 , \quad \bar{X}_5 = 4263 + (0.88 * 1432.6) = 5522 \text{ m}^3/\text{s}.$$

$$T = 10 \text{ years} : \bar{X}_{10} = 6499 \text{ m}^3/\text{s} , \quad \bar{X}_{20} = 7436 \text{ m}^3/\text{s}.$$

من خلال الرسم يتبين أن البيانات المعطاة تتطابق بصورة جيدة مع مخطط كامبل للقيم القصوى ، وبواسطة الإستقراء للعلاقة بين X_T و T تكون :

$$T = 100 \text{ year} \implies X_T = 9600 \text{ m}^3/\text{s}.$$

$$T = 150 \text{ year} \implies X_T = 10700 \text{ m}^3/\text{s}.$$

وبإستخدام المعادلات :

$$X_{100} = 9558 \text{ m}^3/\text{s} \quad \& \quad X_{150} = 10088 \text{ m}^3/\text{s}.$$

ملاحظة / عندما $T = 2.33$ سنة فإن قيمة الفيضان المقابلة تسمى متوسط الفيضان السنوي (Mean Annual Flood).

(4) / كانت نتائج حسابات تردد الفيضان لأحد الأنهر باستخدام طريقة كامبل كما هو مبين أدناه :

100

46300

50

40809

() T

ذروة الفيضان (م³/ث)

إحسب مقدار الفيضان في هذا النهر لفترة تكرار 500 .

/

$$X_{100} = \bar{X} + k_{100} \quad n-1$$

$$X_{50} = \bar{X} + k_{50} \quad n-1$$

$$(k_{100} - k_{50}) \quad n-1 = X_{100} - X_{50}$$

$$= 46300 - 40809 \implies (k_{100} - k_{50}) \quad n-1 = 5491$$

$$k_T = \frac{Y_T}{S_n} - \frac{\bar{Y}_n}{S_n}$$

$$Y_{100} = - [\ln \cdot \ln (100/99)] = 4.6 \quad , \quad Y_{50} = 3.9$$

$$\left(\frac{Y_{100} - \bar{Y}_n}{S_n} - \frac{Y_{50} - \bar{Y}_n}{S_n} \right) \uparrow_{n-1} = 5491 \implies n-1 / S_n = 5491 / (4.6 - 3.9) = 7864$$

عندما T = 500 سنة:

$$Y_{500} = - [\ln \cdot \ln (500/499)] = 6.21$$

$$(Y_{500} - Y_{100}) * (n-1 / S_n) = X_{500} - X_{100}$$

$$(6.21 - 4.6) * 7864 = X_{500} - 46300$$

$$X_{500} = 59000 \text{ m}^3/\text{s}.$$

3.7. حدود الثقة Confidence Limits:

إن قيمة المتغير X لفترة تكرار معلومة والمحسوبة بطريقة كامل يمكن أن يرافقها بعض الخطأ جراء بيانات العينة المحددة ، لذلك فإن من الضروري في هذه الحالة استخدام ما يعرف بحدود الثقة، وهي التي توضح حدود القيمة المحسوبة والتي بينها يمكن أن تكون القيمة الحقيقية بإعتبار إحصائية معينة تعتمد على الخطأ الحاصل في العينة فقط. فإذا علمت أن إحصائية الثقة هي C فإن فترة الثقة للمتغير ستتراوح بين القيمة X_1 والقيمة X_2 والتي يعبر عنها رياضياً كما يأتي :

$$X_{1/2} = X_T \pm f(c) S_e$$

دالة إحصائية الثقة C المحسوبة باستخدام الجدول التالي $f(c)$:

99	95	90	80	68	50	C %
2.58	1.96	1.645	1.282	1	0.674	f(c)

$$S_e : \text{الخطأ المحتمل} \implies S_e = b \frac{n-1}{\sqrt{N}} \quad \text{and} \quad b = \sqrt{1+1.3k+1.1k^2}$$

$$k = \frac{Y_T - \bar{Y}_n}{S_n} \quad (\text{معامل التردد}) , \quad N : \text{حجم العينة}$$

(5) / إذا علمت أن المتوسط الحسابي والانحراف القياسي لسلسلة الفيضانات السنوية لبيانات مأخوذة عبر 92 سنة لأحد الأنهار كانت 6437 و 2951 م³/ثا على التوالي ، استخدم طريقة كامبل لحساب تصريف الفيضان 500 سنة . ماهي :

95% . /
80% . حدود الثقة لهذا التخمين.

$$Y_n = 0.5589 \longleftarrow 92 = N \quad 3 - 7 \text{ من جدول}$$

$$S_n = 1.202 \longleftarrow 92 = N \quad 4 - 7 \text{ من جدول}$$

$$Y_{500} = - [\ln . \ln (500 / 499)] = 6.21$$

$$K_{500} = (6.21 - 0.5589) / 1.202 = 4.7$$

$$X_{500} = 6437 + 4.7 * 2951 = 20320 \text{ m}^3 / \text{s}.$$

$$b = \sqrt{1+1.3*4.7+1.1(4.7^2)} = 5.61 , \quad S_e = 5.61 * \frac{2951}{\sqrt{92}} = 1726$$

$$f(c) = 1.96 \longleftrightarrow C = 95 \% \text{ أ.}$$

$$X_{1/2} = 20320 \pm (1.96 * 1726)$$

$$X_1 = 23703 \text{ m}^3/\text{s} \quad , \quad X_2 = 16937 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$f(c) = 1.282 \longleftrightarrow C = 80 \% \text{ ب.}$$

$$X_{1/2} = 20320 \pm (1.282 * 1726)$$

$$X_1 = 22533 \text{ m}^3/\text{s} \quad , \quad X_2 = 18110 \text{ m}^3/\text{s}$$

4.7. توزيع بيرسون اللوغاريتمي من النوع الثالث :

في هذا التوزيع يتم تحويل المتغير X إلى الشكل اللوغاريتمي ثم يجري تحليل البيانات :

$$Z = \log X \quad \Longrightarrow \quad \bar{Z}_T = Z + k_z z$$

k_z : معامل التكرار وهو دالة لفترة التكرار ومعامل الإلتواء (C_s)

z : الانحراف المعياري للمتغير Z

$$z = \sqrt{\sum (Z - \bar{Z})^2 / (N - 1)}$$

$$C_s = \frac{N \sum (Z - \bar{Z})^3}{(N - 1)(N - 2)(z)^3}$$

\bar{Z} : المتوسط الحسابي لقيم Z

N : حجم العينة

Where $k_z (C_s, T)$ جدول (6 - 7) ص 327

(6) / بالرجوع إلى بيانات السلسلة السنوية للفيضانات للمثال (3) :
 باستخدام توزيع بيرسون اللوغاريتمي من النوع الثالث .
 (100 سنة)

64	63	62	61	60	59	58	57	56	55	54	53	52	51	السنة
6900	5050	4652	4290	4798	3757	4903	5060	2947	3496	4124	2399	3521	2947	أقصى فيضان (X) (m ³ /s)
3.8388	3.7033	3.6676	3.6325	3.6811	3.5748	3.6905	3.7042	3.4694	3.5436	3.6153	3.38	3.5467	3.4694	Z = log X
	77	76	75	74	73	72	71	70	69	68	67	66	65	السنة
	1971	6761	4593	3873	2709	2988	4175	3700	6599	3320	7826	3380	4366	أقصى فيضان (X) (m ³ /s)
	3.2947	3.83	3.6621	3.588	3.4328	3.4754	3.6207	3.5682	3.8195	3.5211	3.8935	3.5289	3.6401	Z = log X

$$z = 0.1427 \quad , \quad \bar{Z} = 3.607$$

$$C_s = \frac{27 \sum 0.003}{26 * 25 * (0.1427)^3} = 0.043$$

X _T (m ³ / s)	Z _T	K _z z	K _z	T (year)
8709	3.94	0.3325	2.33	100
9440	3.975	0.369	2.584	200